

Diplomarbeit

**Lernkurve nach Implementierung der VATS-
Lobektomie an einer thoraxchirurgischen Abteilung**

eingereicht von

Daniel Popp

Geb. Dat.: 10.05.1987

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

Ausgeführt an der

Universitätsklinik für Chirurgie

Klinische Abteilung für Thoraxchirurgie und Hyperbare Chirurgie

unter der Anleitung von

Univ.-Prof.Dr. Freyja-Maria Smolle-Jüttner

Ao.Univ.-Prof. Dr. Alfred Maier

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

Unterschrift

Gleichheitsgrundsatz: Um die Lesbarkeit dieser Arbeit zu erleichtern, habe ich mich dazu entschlossen das generische Maskulinum zu verwenden.

Danksagungen

Meiner Familie möchte ich danken, dass sie während meiner gesamten Ausbildungszeit in allen Lebenslagen für mich da war. Besonders meinen Eltern Rosemarie und Dr. Leo Popp danke ich dafür, dass Sie mich gefordert und gefördert, und mich immer wieder zum Nachdenken und kritischen Hinterfragen angeregt haben. Dass sie mich auf meinem Weg unterstützen, und ich einen der wohl schönsten und spannendsten Berufe erlernen darf die es gibt.

Frau Prof. Dr. Freyja-Maria Smolle-Jüttner möchte ich an dieser Stelle ganz besonders hervorheben. Sie gab mir stets die nötige Hilfestellung und Unterstützung genau dann, wenn ich sie dringend gebraucht habe. Für ihre zuverlässige, kompetente Betreuung bin ich ihr zu tiefstem Dank verpflichtet. Sie ist für mich sowohl in fachlicher als auch in menschlicher Hinsicht ein großes Vorbild. Herzlichen Dank für die gute Zusammenarbeit! Ihrem Gatten Rektor Prof. Dr. Josef Smolle möchte ich für die wertvolle Unterstützung bei der statistischen Auswertung danken.

Meinen Freunden die mich durch die Studienzeit begleitet haben danke ich für eine unvergessliche Zeit, und einer ganz besonderen Kollegin mit der ich auch die Hingabe zur Medizin teilen kann wie mit sonst keinem Menschen.

Zusammenfassung

EINLEITUNG Die Frequenz mit der minimalinvasiv-chirurgische Eingriffe durchgeführt werden ist in den letzten Jahren stark gestiegen. So auch in der Thoraxchirurgie. Man erhofft sich Vorteile für die Patienten wie eine verkürzte Spitalsaufenthaltsdauer, einen geringeren Bedarf an postoperativer Schmerzmedikation sowie auch eine Abnahme des Post-Thorakotomie-Syndroms, welches typischerweise nach offenen Thoraxoperationen auftritt. Zudem sind Thorakoskopische Operationen vielfach auch kostengünstiger als herkömmliche Eingriffe. Mit dieser Arbeit soll untersucht werden ob die angenommenen Vorteile für den Patienten im Vergleich zur offenen Lobektomie tatsächlich erzielt werden können. Weiters möchten wir die Rationale der thoraxchirurgischen Zugänge an Beispielen erläutern.

METHODEN Seit Implementation der VATS-Lobektomien im Herbst 2011 werden an der Klinischen Abteilung für Thoraxchirurgie und Hyperbare Chirurgie an der Medizinischen Universität Graz (Österreich) Lungentumoren des Stadiums AI und AII vorwiegend in minimalinvasiver, thorakoskopischer Technik (VATS) lobektomiert. Wir nahmen eine retrospektive Analyse der ersten 54 Patienten anhand der Krankenakten vor, die einer minimalinvasiven VATS-Lobektomie unterzogen wurden. An tumorspezifischen Daten wurden Tumorgröße, regionärer Lymphknotenbefall, Metastasen und Resektionsrand in die vorliegende Studie einbezogen. Weitere zentrale Parameter umfassten neben basalen biometrischen Daten Operationsdatum, Operationsdauer, Verweildauer der Thoraxdrainagen, stationäre Verweildauer, Intensität postoperativer Schmerzen gemessen an der visuellen Analogskala (VAS), Dauer postoperativer Schmerzmedikation und Komplikationen. Als Vergleichskollektiv wurden Patienten herangezogen, welche in den letzten Jahren vor Implementation der VATS-Lobektomie in konventioneller Technik operiert worden

ERGEBNISSE Insgesamt umfasste das Kollektiv der VATS-Lobektomie 54 Patienten, die im Zeitraum vom Oktober 2011 bis zum Jänner 2013 operiert worden waren. Das Vergleichskollektiv – bestehend aus 44 Patienten mit vergleichbarem T-Stadium (T1a, T1b, T2a) die mittels konventioneller Methode operiert worden waren – stammt aus dem Zeitraum Februar 2009 bis August 2012. Die VATS-Gruppe umfasste 30 Männer und 24 Frauen mit einem Durchschnittsalter von 65,3 Jahren. Die Gesamtkonversionsrate betrug 31,8 %. Die Mittlere Operationsdauer betrug 130,8 min. ($\pm 43,5$) mit einer mittleren Liegedauer der Thoraxsaugdrainage von 7,4 Tagen ($\pm 6,1$) und einer mittleren

postoperativen Aufenthaltsdauer von 10,4 Tagen ($\pm 7,7$). Die Komplikationsrate lag bei 13%, meistens leichte Komplikationen. Die perioperative Mortalität betrug 1,9 %. Die Patienten hatten postoperativ sowohl in Ruhe als auch bei Belastung weniger Schmerzen, die Dauer der parenteralen Schmerztherapie konnte nach VATS-Lobektomie signifikant verkürzt werden, und betrug im Mittel 5,72 Tage ($\pm 3,63$) im Vergleich zur offenen Operation mit 7,63 Tage ($\pm 4,52$). Die Operationsdauer nahm insgesamt mit zunehmender Erfahrung der beiden Operateure statistisch hochsignifikant ab ($p = 0.008$) – d.h. sie wurden schneller. Die Konversions- und Komplikationsrate zeigten keinen Zusammenhang mit der Lernkurve.

CONCLUSIO Diese Studie und die Literatur zeigen dass die VATS-Lobektomie eine sichere Methode mit einigen nennenswerten Vorteilen für den Patienten ist. Die in der Literatur beschriebene kürzere Liegedauer der Thoraxsaugdrainage, kürzere Spitalsaufenthaltsdauer und geringere postoperative Schmerzen bestätigten sich in unserer Studie. Mit genügend Erfahrung in offener Thoraxchirurgie und VATS-Chirurgie kann die Technik unter einer während der Lernkurve verlängerten Operationszeit und erhöhten Konversationsrate ohne Einbußen bei der Patientensicherheit bzw. erhöhte Komplikationsraten in Kauf nehmen zu müssen, gut erlernt werden.

Abstract

BACKGROUND The number of major lung resections performed by video-assisted thoracic surgery (VATS) has been constantly increasing. Benefits for the patients such as shorter hospital stay, less use of pain medication after surgery and decrease of post-thoracotomy syndrome, that typically occurs after open thoracic surgery. Furthermore, thoracoscopic interventions are in many cases more cost-effectively than conventional procedures. This review should determine if the assumed benefits for the patients in comparison to open lobectomy de facto can be attained. As well we want to give a review of the standard thoracic surgical approaches

METHODS Since implementation of VATS-lobectomy in autumn 2011, at the Thoracic and Hyperbar Surgery Unit, Graz Medical University (Austria) stadium AI and AII are extirpated mainly through minimal-invasive thoracoscopic procedure (VATS). We have performed a retrospective review including the first 54 Patients based on their clinical records, who underwent minimal-invasive VATS-lobectomy. Tumour specific data as tumour size, regional lymph nodes involvement, metastases and resection margin have been included to this study. Additional key parameters included besides biometric data surgery date, chest tube duration, length of hospital stay, intensity of post-operative pain measured by visual analogue scale (VAS), duration of post-operative pain medication and complications. The control group consisted of patients who underwent open lobectomy over the past years.

RESULTS A total of 54 major pulmonary resections were performed in the period from October 2011 until January 2013. The control group that underwent open lobectomy including 44 patients with comparable T-Stage (T1a, T1b, T2a) was operated between February 2009 and August 2012. In the VATS-group there were 30 males and 24 females, with a mean age of 65,3 years ($\pm 10,2$). The overall conversion rate was 31,8%. Mean duration of VATS-lobectomy was 130,8 min., ($\pm 43,5$) with average chest tube duration of 7,4 days ($\pm 6,1$) and mean hospital stay of 10,4 Tagen ($\pm 7,7$). The morbidity rate was 13%, mostly involving minor complications. Perioperative mortality was 1,9%. Patients had both in rest and in movement less pain postoperatively, parenteral pain medication could be stopped significantly earlier and was lasting on average 5,72 days ($\pm 3,63$) compared to

open surgery with 7,63 days ($\pm 4,52$). With ongoing experience of the two surgeons, operation time was decreasing significantly ($p = 0.008$). Frequency of Reoperation was also decreasing. All other parameters were not correlating with the learning curve.

CONCLUSION This study and the literature show that VATS-lobectomy is a safe approach with several appreciable advantages for the patients. As described in the literature, shorter hospital stay and less postoperative pain were proven in our study. With adequate experience in open thoracic surgery and VATS-surgery, this procedure can be acquired with longer operating time and higher conversion rate with preserved patient's safety.

Inhaltsverzeichnis

Danksagungen.....	iv
Zusammenfassung.....	v
Abstract.....	vii
Inhaltsverzeichnis.....	ix
Glossar und Abkürzungen.....	xi
1 Einleitung.....	1
1.1 Anatomie.....	1
1.1.1 Die Lunge.....	1
1.1.1.1 Lappen und Segmente.....	1
1.1.1.2 Gefäß- und Lymphsystem.....	3
1.1.1.3 Topographie.....	7
1.1.2 Das Mediastinum.....	9
1.2 Physiologische und Pathophysiologische Grundlagen.....	9
1.2.1 Lungenvolumina und Lungenkapazitäten.....	9
1.2.1.1 Forciertes expiratorisches Volumen der ersten Sekunde FeV ₁ :.....	10
1.2.2 Atemmechanik.....	10
1.2.3 Die Einlungenventilation.....	11
1.3 Präoperative Evaluation und Risikoabschätzung.....	11
1.3.1 Operabilität.....	12
1.3.2 Risikofaktoren.....	12
1.3.3 Einschränkung der Aussagekraft.....	13
1.3.4 Risikoklassen.....	14
1.3.5 Lungenfunktionsdiagnostik.....	14
1.3.6 Stufendiagnostik.....	16
1.3.7 Besonderheiten der Thoraxchirurgie im Alter.....	17
1.4 Das Lungenkarzinom.....	18
1.4.1 TNM-Staging.....	18
1.5 Die chirurgische Lernkurve.....	19
1.5.1 Definition.....	19
1.5.2 Schwierigkeiten.....	20
1.6 Operationsverfahren.....	21
1.6.1 Lobektomie.....	21
1.6.1.1 Indikation.....	21
1.6.1.2 Grundlegende Technik der Lobektomie.....	22
1.6.2 Thorakoskopische Verfahren.....	22
1.6.2.1 VATS-Lobektomie.....	22
1.6.3 Offene Verfahren.....	27
1.6.3.1 Posterorlaterale Thorakotomie.....	27
1.6.3.2 Anterolaterale Thorakotomie.....	28
1.6.3.3 Postthorakotomie-Syndrom.....	30
1.6.4 Die Thoraxsaugdrainage.....	30
1.6.4.1 Beurteilung und Entfernung der Thoraxsaugdrainage.....	31
1.6.5 Postoperative Komplikationen nach Lungenresektion.....	32
1.6.5.1 Pneumothorax und Erguss.....	32
1.6.5.2 Atelektasen.....	32
1.6.5.3 Nachblutung.....	33
1.6.5.4 Parenchymfistel.....	33
1.6.5.5 Bronchusstumpfsuffizienz.....	34
2 Patienten und Methoden.....	34
2.1 Größe des Patientenkollektivs.....	37
2.2 Studienaufbau.....	37

2.3	Literatursuche	38
3	Ergebnisse.....	39
3.1	Allgemeine Charakteristika.....	39
3.1.1	Alter, Geschlecht und BMI.....	39
3.1.2	Lungenfunktion und Risikofaktoren	41
3.2	Spezielle Charakteristika	44
3.2.1	Anatomische Verteilung der Lappen.....	44
3.2.2	Histopathologische Diagnose	45
3.2.3	pTNM-Stadium	46
3.3	Chirurgisches Outcome.....	47
3.3.1	Operationsdauer und Konversionsrate.....	47
3.3.2	Konversionen.....	49
3.4	Postoperatives Outcome	52
3.4.1	Komplikationen und Reoperationen	52
3.4.2	Schmerzen postoperativ	54
3.4.3	Stationärer Aufenthalt	56
3.5	Lernkurve	56
4	Diskussion.....	58
	Literaturverzeichnis.....	64

Glossar und Abkürzungen

A.	Arterie
Aa.	Arterien
ASA-Klassifikation	American Society of Anesthesiology Physical Status Classification
CALGB	Cancer and Leukemia Group B
cm	Zentimeter
cmH ₂ O	Zentimeter Wassersäule
COPD	Chronic Pulmonary Obsructive Pulmonary Disease
CPET	Cardio-pulmonary Exercise Test (Spiroergometrie)
d	Tag(e)
DLco	Diffusionskapazität
EKG	Elektrokardiogramm
ERS	European Respiratory Society
ESTS	European Society of Thoracic Surgeons
et al.	et alii (und andere)
FEV1	forciertes Expiratorisches Volumen der ersten Sekunde
ICR	Interkostalraum
KG	Körpergewicht
KHK	Koronare Herzkrankheit
LKH	Landeskrankenhaus
min.	Minuten
N.	Nerv
NRS	Numerische Rating-Skala
Op-Zeit	Operationszeit
PAVK	Periphere Arterielle Verschlusskrankheit
ppo	predicted postoperative lung function
ppo FeV1	vorhergesagtes Expiratorisches Volumen der ersten Sekunde
DLco	Diffusionskapazität
VATS	Video-Assisted Thoracic Surgery
V.	Vene
VO ₂ max	maximale Sauerstoffaufnahme in ml/kg/KG
Vv.	Venen

1 Einleitung

Die Frequenz mit der minimalinvasiv-chirurgische Eingriffe durchgeführt werden ist in den letzten Jahren stark gestiegen. So auch in der Thoraxchirurgie. Man erhofft sich Vorteile für die Patienten wie eine verkürzte Spitalsaufenthaltsdauer, einen geringeren Bedarf an postoperativer Schmerzmedikation sowie auch eine Abnahme des Post-Thorakotomie-Syndroms, welches typischerweise nach offenen Thoraxoperationen auftritt. Zudem sind Thorakoskopische Eingriffe vielfach auch kostengünstiger als herkömmliche Eingriffe.

Dennoch wird der Großteil der Lobektomien, vor allem abseits großer Zentren, noch immer offen operiert. Die Gründe hierfür sind mannigfaltig. Zum einen ist die VATS-Lobektomie technisch sehr anspruchsvoll, sie wird zu den schwierig zu erlernenden Operationen gezählt und erfordert Erfahrung in der offenen Thoraxchirurgie, zum anderen kommt es immer wieder zu Komplikationen gerade am Anfang der Lernkurve.

Seit Oktober 2011 werden an der Thoraxchirurgischen Abteilung des LKH Universitätsklinikums Graz Videoassistierte Thorakoskopische Lobektomien (sog. VATS-Lobektomien) durchgeführt. Mit dieser Arbeit soll untersucht werden ob die angenommenen Vorteile für den Patienten im Vergleich zur offenen Lobektomie tatsächlich erzielt werden können. Auch möchten wir zeigen, dass die Technik der VATS-Lobektomie ohne erhöhte Komplikations- und Mortalitätsraten und daher mit zufriedenstellender Patientensicherheit erlernt werden kann.

Die Ergebnisse sollen vorgestellt werden, zusätzlich möchten wir die Rationale der thoraxchirurgischen Zugänge an Beispielen erläutern.

1.1 Anatomie

1.1.1 Die Lunge

1.1.1.1 Lappen und Segmente

Der makroskopische Aufbau der Lunge wird unterteilt in Lappen und Segmente. Rechts besteht die Lunge aus drei Lappen. Einem Oberlappen, welcher durch eine horizontal verlaufende Fissur vom Mittellappen sowie durch eine schräg verlaufende Fissur vom Unterlappen getrennt wird. Links teilt eine schräge Fissur die Lunge in einen oberen und

einen unteren Lappen. (1) Die schrägen Fissuren verlaufen auf beiden Seiten in etwa ähnlich von kranial dorsal nach kaudal ventral.

Die einzelnen Lungenlappen werden durch bis ans Lungenhilum reichenden Verschiebespalten (Fissuren) getrennt, was die Voraussetzung für die gegenseitige Verschiebbarkeit der einzelnen Lappen bei der Atmung ist. Diese Tatsache ermöglicht außerdem eine gute Separation der einzelnen Lappen um zum Beispiel eine Lobektomie vorzunehmen, oder einen das Lungengewebe schonenden Zugang zu den Bronchien zu erhalten. (2)

Die beiden Lappen der linken Lunge, Ober- und Unterlappen, werden durch eine schräge Fissur voneinander getrennt. Der Oberlappen der linken Lunge entspricht dem Ober- und Mittellappen der rechten Lunge, ist aber aufgrund der tiefen Aussparung für das Herz (Herzbucht) wesentlich kleiner.

Die einzelnen Lungenlappen sind von Pleura viszeralis umgeben, welche sich am Lungenhilus umschlägt und diesen ausspart damit hier die Gefäße eintreten können. Das Ligamentum Pulmonale, eine sich vom Hilus nach unten hin fortsetzende Pleuraduplikatur verbindet die beiden Lungenunterlappen mit dem Herzbeutel (Perikard) und enthält in erster Linie Lymphknoten sowie Lymphgefäße.

Die Teilung der Trachea in die beiden Hauptbronchi erfolgt auf Höhe des 4. Brustwirbelkörpers. Nach dieser Aufteilung werden die Bronchien zunächst als Lappen- und ab der nächsten Aufteilung als Segmentbronchien bezeichnet. (2)

Rechts wird die Lunge in 10, links in 9 Segmente unterteilt von welchem jedes einen eigenen Segmentbronchus mit einer damit dazugehörigen eng verbundenen Segmentarterie besitzt, welche sowohl als funktionelle als auch als morphologische Einheit betrachtet werden können. Die Venen verlaufen hingegen intersegmentär und nehmen das Blut vom anliegenden Gewebe auf. (1)

Rechts teilt sich der Hauptbronchus in einen Oberlappenbronchus von dem drei Segmentbronchien für die Segmente S 1-S 3 (apikales, posteriores, anteriores Segment), in einen Zwischenbronchus von dem Segmentbronchi für die beiden vorderen Segmente (S 4, S 5) des Mittellappens sowie nach dorsal für das apikale Unterlappensegment (S 6) abgehen. Im weiteren Verlauf teilt er sich in die 4 basalen Unterlappensegmente (S7 bis S 10) auf.

Über den etwas längeren und weniger steil verlaufenden linken Hauptbronchus legt sich die linke Pulmonalarterie. Der Oberlappenbronchus teilt sich in einen oberen Ast für ein apikales, anteriores und posteriores Segment (S 1 bis S 3) und einen unteren Ast für die Lingula (S 4 und S 5). Der Segmentbronchus zum apikalen Unterappensegment geht quasi direkt unter dem Oberlappenbronchus ab weshalb ein Mittellappenbronchus links fehlt. Der Unterlappenbronchus bildet die Segmente S 7 bis S 10. (1)

1.1.1.2 Gefäß- und Lymphsystem

Die Lunge besitzt zwei unterschiedliche Gefäßsysteme: Zum einen die der Lunge selbst zur Versorgung dienenden Vasa Privata (Aa. und Vv. bronchiales) und zum anderen die für den Gasaustausch des ganzen Körpers zuständigen Vasa Publica (Aa. und Vv. pulmonales). (2)

Lungenarterien

Die Sauerstoff armes Blut führenden aus dem rechten Herzen kommenden Lungenarterien teilen sich ähnlich der Bronchien. Eine je linke und rechte Pulmonalarterie teilt sich in sekundäre Lappenarterien und weiter in tertiäre Segmentarterien. Die Arterien verlaufen gemeinsam mit den gleichnamigen Bronchien und versorgen wie diese die jeweiligen Lappen und Segmente. Wobei die Arterien in ihrer Lage zu den Bronchien meist einen anterioren Aspekt annehmen. (3)

Lage und Verlauf: Die Teilung des Pulmonalarterienstammes in linke und rechte Pulmonalarterie erfolgt noch im Herzbeutel, wobei die linke Pulmonalarterie länger intraperikardial verläuft als die rechte. *Links* liegt sie kaudal der Aorta und legt sich bogenförmig über den linken Hauptbronchus. Auf der *rechten Seite* liegt sie hinter der Aorta und der Vena Cava und kaudal zum rechten Hauptbronchus.

Die linke und rechte Oberlappenarterie geht bereits vor Eintritt ins Lungenhilum ab und setzt sich von ventral nach dorsolateral in einem Bogen, posterolateral zum Hauptbronchus gelegen, links als Unterlappenarterie und rechts zunächst als Zwischenarterie, die sich im weiteren Verlauf in eine Mittellappen- und eine Unterlappenarterie teilt, fort. (3) (1)

Die linke Unterlappenarterie liegt lateral des Bronchus und ist chirurgisch in der schrägen Fissur als erstes gelegenes Gebilde aufzusuchen. (1)

Lungenvenen

In aller Regel existieren auf beiden Seiten je eine obere und eine Untere Lungenvene, welche das in der Lunge mit Sauerstoff angereicherte Blut zurück zum linken Herzen führen. Die oberen Pulmonalvenen bekommen ihre Zuflüsse aus dem Gebiet der Oberlappen und links der Lingula bzw. rechts des Mittellappens, die unteren Pulmonalvenen aus den jeweiligen Unterlappen.

Im Gegensatz zu den Lungenarterien verlaufen die Lungenvenen völlig unabhängig von den Bronchien. Die tiefen Venen verlaufen im Lungenparenchym in und zwischen den Segmenten (intra- und intersegmental) und sammeln das Blut aus den angrenzenden bronchopulmonalen Segmenten. In den subpleural gelegenen oberflächlichen Venen sammelt sich das sauerstoffarme Blut, welches im Verhältnis zum sauerstoffreichen Blut der tiefen Venen in sehr geringer Menge beigemischt wird. Venen der parietalen Pleura folgen Brustwand-nahen systemischen Venen. (1) (3)

Bronchialgefäße

Die Bronchialarterien versorgen die Gebilde der Lungenwurzel, das Bindegewebe und die viszerale Pleura. Sie entspringen meist direkt aus dem Aortenbogen oder aus einer Interkostalarterie, seltener aus einer den Ösophagus versorgenden Arterie, der A. mammaria interna oder der A. subclavia. An der Bifurkation der Trachea finden sich Anastomosen zwischen links und rechts. Der venöse Abfluss erfolgt über die Pulmonalvenen und zum Teil auch über die Vena azygos und hemiazygos.

Lymphsystem

Die Nomenklatur der Lymphknotenstationen ist nicht einheitlich gegliedert und es finden sich je nach Autor beträchtliche Unterschiede. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen intra- und extrapulmonalen Lymphknoten. (1)

Das oberflächliche Lymphsystem ist unter der viszeralen Pleura gelegen, während das tiefe Lymphsystem in der Submucosa der Bronchien und des peribronchialen Bindegewebes gelegen ist. (3)

Intrapulmonal bzw. subpleural gelegene Lymphknotenstationen werden in drei verschiedene Abschnitte eingeteilt. Die in den Teilungswinkeln der Segmentbronchien bzw. -arterien gelegenen Gruppen werden als lobuläre Knoten, die in den Fissuren gelegenen als interlobäre Knoten und die zwischen den Hilusgebilden gelegenen werden als hiläre Knoten bezeichnet. Die interlobären Knoten bilden links als auch rechts jeweils ein Lymphsammelbecken (lymphatic sump) mit Zuflüssen aus allen Lungenlappen der entsprechenden Seite. Aus (onko-) chirurgischer Sicht sind diese Lymphknoten von äußerster Bedeutung da sich hier sehr häufig (rechts häufiger als links) Lymphknotenmetastasen befinden. Als Verbindung zwischen intra- und extrapulmonalem Lymphsystem gelten die Hiluslymphknoten. (1)

Die extrapulmonal gelegenen Lymphknoten werden nach ihrer Lage eingeteilt in vordere- und hintere mediastinale Knoten, sowie in prätracheale und tracheobronchiale Knoten. Die Tracheobronchiale Gruppe ist aufgrund ihrer häufigen Mitbeteiligung beim Bronchuskarzinom von großer Wichtigkeit. (1)

Grundsätzlich fließt die Lymphe von den intrapulmonalen über die hilären zu den extrapulmonalen Lymphknoten. Links und rechts bestehen im weiteren Abflussweg jedoch Unterschiede. (1)

Rechts fließt die Lymphe von den Hiluslymphknoten über die zur Bifurkation oberhalb und unterhalb gelegenen unteren tracheobronchialen (Carina) und oberen tracheobronchialen Lymphknoten, entlang der Trachea über den rechten Truncus lymphaticus bronchomediastinalis und/oder den Skalenusknoten (Nodus lymphaticus cervicalis profundus) und mündet in der rechten Vena Brachiocephalica. (4)

Links fließt die Lymphe des Oberlappens über die den rechts entsprechenden Stationen auf der linken Seite bis schlussendlich zum Ductus Thoracicus der im linken Venenvinkel mündet. Nicht alle, jedoch viele der Lymphgefäße des linken Unterlappens fließen in die rechten oberen tracheobronchialen Lymphknoten. Danach folgt die Lymphe dem oben beschriebenen rechten Pfad. (3)

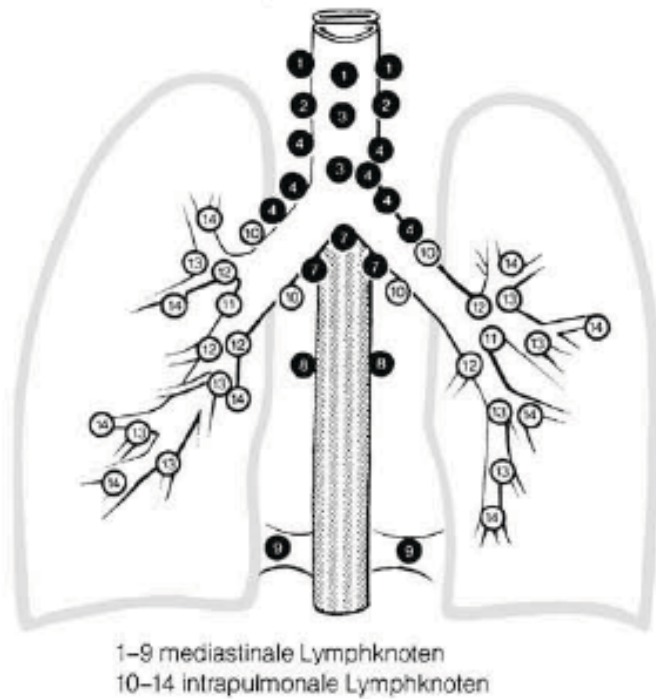


Abbildung 1. Lymphknotenstationen der Lunge, aus Pichlmaier Thoraxchirurgie. (1) *Hell*: Intrapulmonale und hiläre Lymphknoten; *Dunkel*: Mediastinale Lymphknoten.

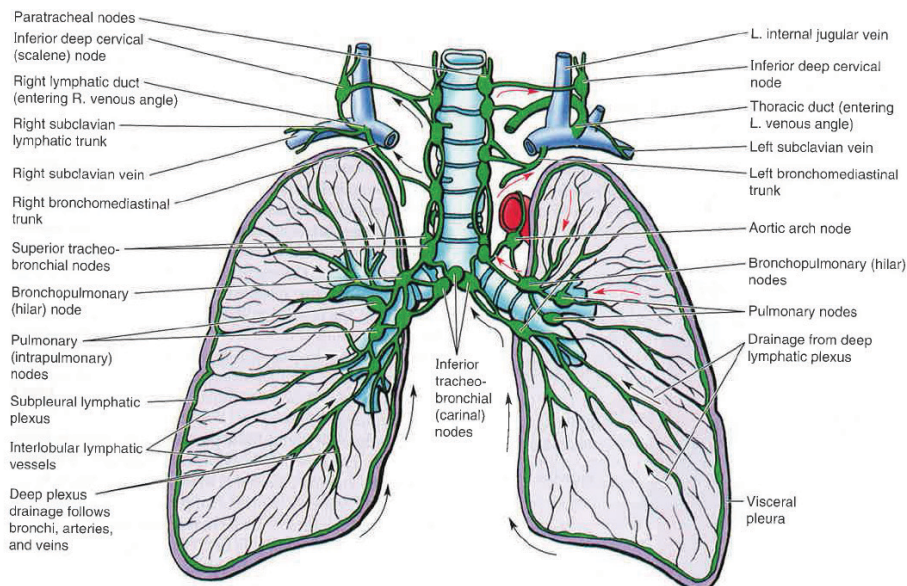


Abbildung 2. Lyphabflusswege der Lunge, aus Moore Clinically Oriented Anatomy. (3) *Rote Pfeile*: Drainage aus dem linken Oberlappen; *Schwarze Pfeile*: Drainage aus der rechten Lunge und des linken Unterlappens.

1.1.1.3 Topographie

Die Lungen liegen in der Brusthöhle, welche von Pleura parietalis ausgekleidet ist und daher als Pleurahöhle bezeichnet wird. Die Lungen selbst sind von Pleura viszeralis überzogen. Zwischen diesen beiden Pleurablättern liegt ein kapillärer Spaltraum der mit einer kleinen Menge seröser Flüssigkeit gefüllt ist und dadurch das Aneinandergleiten der Pleurablätter erleichtert und die Reibung beim Atmen reduziert. Während die parietale Pleura stark von Schmerzfasern innerviert wird, wird die Pleura viszeralis kaum sensibel versorgt. (4)

Nach kranial hin überragt die Pleurakuppel die obere Thoraxöffnung um 2 bis 3 Zentimeter, nach kaudal grenzt die Pleura ans Zwerchfell. Bei Atemmittellage liegt die untere Lungengrenze ungefähr 2 Rippen höher als Pleuragrenzen. Bei tiefer Inspiration entfalten sich die Lungen in die Reserveräume (Recessus), maximal jedoch um die Größe eines Interkostalraumes. (2)

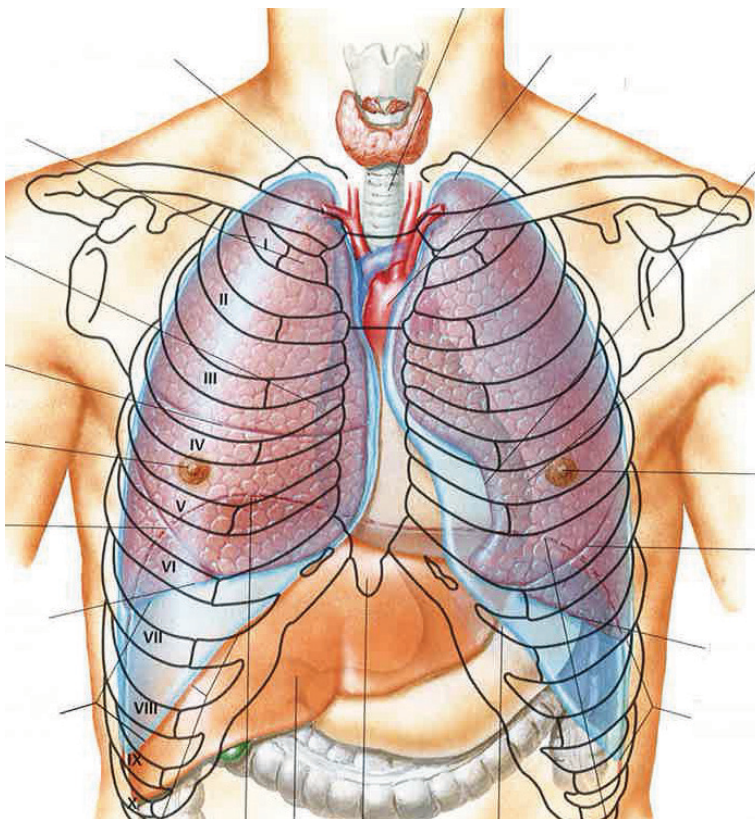


Abbildung 3. Schematische Darstellung der Lage der Thorax- und Oberbauchorgane von ventral, aus Netters Klinische Anatomie. (4)

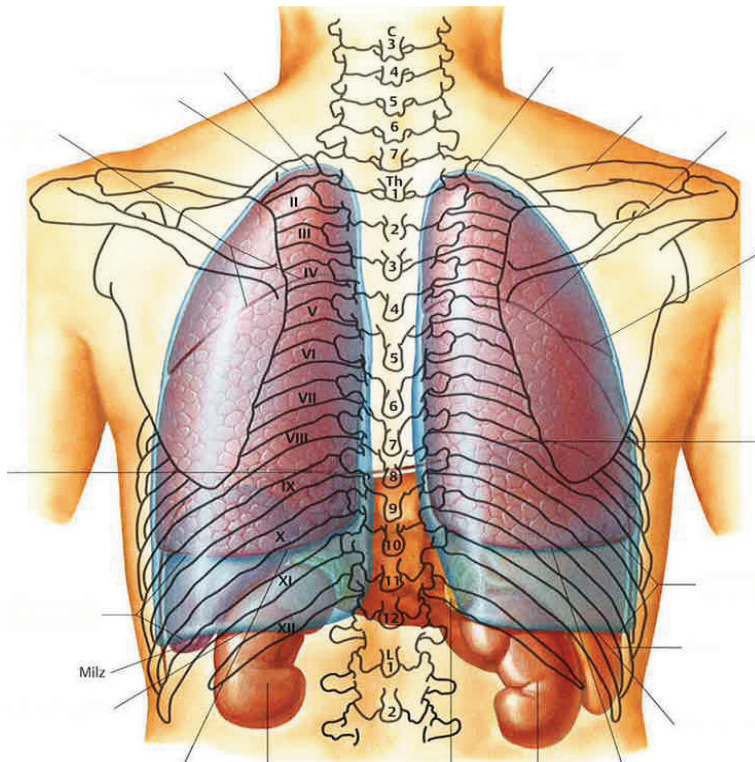


Abbildung 4. Schematische Darstellung der Lage der Thorax- und Oberbauchorgane von dorsal, aus Netters Klinische Anatomie. (4)

Topographie der Lungenhili

In Bezug auf die Lage der Strukturen die an den Lungenhili aus- und eintreten unterscheidet sich der Rechte vom Linken Hilus nur in der Anordnung in kranio- kaudaler Richtung. Von ventral nach dorsal ist die Anordnung an beiden Lungen gleich: Vorne liegen die Pulmonalvenen, in der Mitte die Pulmonalarterien und hinten die Bronchien.

Rechts ist das am weitesten kranial gelegene Gebilde der Oberlappenbronchus welcher somit eparteriell noch ober der A. pulmonalis gelegen ist. In hyperarterieller Lage liegt darunter der rechte Hauptbronchus, und am weitesten kaudal die Pulmonalvenen.

Links finden sich von kranial nach kaudal die Pulmonalarterie, hyperarteriell gelegen der linke Hauptbronchus und am weitesten kaudal die Pulmonalvenen.

Umgeben werden die mediastinalseitig in der Lungenpforte gelegenen Gebilde von einer Pleuraumschlagsfalte, an der das parietale und das viszerale Blatt der Pleura ineinander

übergehen und liegen somit außerhalb des Pleuraraumes. Die vordere und hintere Umschlagsfalte der Pleura legt sich aneinander und setzt sich nach kaudal hin fort. Diese Pleuraduplikatur wird hier als Ligamentum pulmonale bezeichnet. (5)

1.1.2 Das Mediastinum

Zwischen den beiden Pleurahöhlen ist das Mediastinum gelegen, es ist die Verbindung zwischen dem Kopf- und Halsbereich und dem Thorax. In ihm liegen neben den großen Gefäßen der Oesophagus und die Trachea, der N. Vagus, Truncus Sympathicus sowie der Ductus thoracicus. Des Weiteren sind darin das Herz, der Thymus und eine Vielzahl an Lymphknoten, also alle Eingeweide des Brustraumes außer den Lungen gelegen. (2) (3)

1.2 Physiologische und Pathophysiologische Grundlagen

1.2.1 Lungenvolumina und Lungenkapazitäten

Die Kenntnis der Lungenvolumina bzw. -Kapazitäten ist insofern von Bedeutung, als sie bei der präoperativen Untersuchung als limitierende Faktoren im Hinblick auf eine Resektionstauglichkeit gelten. Würde nach einer Lungen- (Teil-)Resektion die Lungenfunktion zu stark eingeschränkt sein, ist eine Operation nicht möglich. Zudem weisen Patienten mit Bronchuskarzinom, außer der zur Operation führenden Pathologie häufig noch andere Erkrankungen an der Lunge auf. Das sind in erster Linie obstruktive Lungenerkrankungen wie Asthma bronchiale, chronische Bronchitis und COPD, Emphysem, aber auch restriktive Ventilationsstörungen wie z.B. Lungenfibrose.

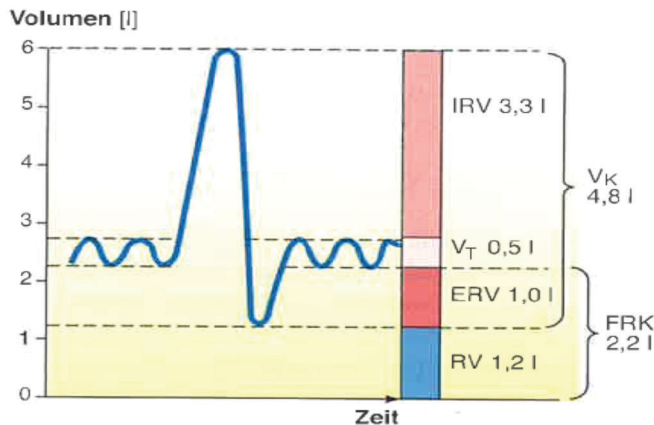


Abbildung 5. Lungenvolumina, aus Sepeckmann Physiologie. (6) Blaue Kurve = Spirometrikurve; V_T , Atemzugvolumen; IRV, inspiratorisches Reservevolumen; ERV, expiratorisches Reservevolumen; VK, Vitalkapazität; RV, Residualvolumen; FRK, funktionelle Residualkapazität.

1.2.1.1 Forciertes expiratorisches Volumen der ersten Sekunde FeV_1 :

Die forcierte Einsekundenkapazität gilt als Maß für den Strömungswiderstand und sollte zumindest 70% der forcierten Vitalkapazität betragen. Mit diesem Test (sog. Tiffenau-Test) kann eine obstruktive Lungenerkrankung festgestellt werden.

1.2.2 Atemmechanik

Die Voraussetzung für eine funktionierende Atmung ist die anatomische Verbindung zwischen Lunge und Thoraxwand, die über die viszerale und parietalen Pleura nur durch einen, mit etwa 5-10ml vom Pleuramesothel gebildeten Flüssigkeit gefüllten, kapillären Spalt getrennt sind.

Die Lunge tendiert aufgrund der Oberflächenspannung der Alveolen und der speziell angeordneten elastischen Fasern dazu, sich in Richtung Hilum zusammenzuziehen. Dem gegenüber steht die nahezu formkonstante knöcherne Thoraxwand. Dadurch entsteht ein subatmosphärischer (negativer) physiologischer intrapleuraler Druck, der durch die Bewegung des Zwerchfells moduliert wird. Bei Ruheatmung in maximaler Expiration liegt er in etwa bei 5cm Wassersäule (0,5 kPa), in maximaler Inspiration bei etwa 8cm Wassersäule (0,8 kPa).

Gelangt jedoch von außen oder von innen Luft in diesen kapillären Spalt, kommt es zur Ausbildung eines Pneumothorax (siehe Kapitel 1.6.5.1). (7) (8) (9)

1.2.3 Die Einlungenventilation

Die über einen Doppellumentubus erfolgende Einlungenventilation ist die Voraussetzung für lungenresezierende Eingriffe. Durch die in der Thoraxchirurgie übliche Seitenlagerung mit zusätzlichem Abknicken des Operationstisches kommt es in den unteren Lungenbereichen zu einem Rechts-Links-Shunt und Atelektasen, was durch die Einlungenbeatmung noch wesentlich verstärkt wird. Deshalb wird ein Atemgasgemisch mit einem Sauerstoffgehalt von über 50% verwendet. Eine vorübergehende manuelle Beatmung kann notwendig sein, da sie an die jeweilige Operationssituation besser angepasst werden kann als die maschinelle Beatmung. Normalerweise wird bei der Einlungenventilation druckkontrolliert oder volumenkontrolliert mit dezeleriertem Flow und in jedem Fall mit einem reduzierten Atemhubvolumen beatmet.

Kann der Patient nach der Operation nicht sofort extubiert werden, darf bei der auf der Intensivstation fortgeführten Beatmung die Thoraxsaugdrainage auf keinen Fall geklemmt werden, da es durch eine möglicherweise bestehende pleuropulmonale Fistel zu einem unter Umständen lebensgefährlichen Spannungspneumothorax kommen kann.

Eine bereits vor der Operation erlernte Atemgymnastik sowie eine im Anschluss an die Operation folgende adäquate Analgesie reduzieren die Wahrscheinlichkeit dass der Patient postoperativ an einer Pneumonie erkrankt, indem eine schmerzbedingte Atemschonhaltung weitestgehend vermieden und einer damit verbundenen unzureichender Sekretab hustung entgegengewirkt wird. (10)

1.3 Präoperative Evaluation und Risikoabschätzung

Operationen im Thorax weisen eine Letalitätsrate von 1-5% auf und zählen somit als Eingriffe mittleren Risikos. Das Risiko im Rahmen einer Lungen (Teil-)Entfernung zu versterben hängt von mehreren Faktoren ab von denen das Ausmaß des entfernten Lungengewebes der wichtigste zu sein scheint. Des Weiteren sind pulmonale Vorerkrankungen die den Gasaustausch oder die Hämodynamik der Lunge einschränken sowie der kardiovaskuläre Status zu berücksichtigen. (11)

Aufgrund der infausten Prognose von nicht operierten Lungenkarzinomen ist die Lungenresektion als kurativer Ansatz bei nicht metastasierten Lungentumoren obligat, woraus auch die großzügige Indikationsstellung zur Operation auch bei in ihrer

kardiopulmonalen Situation eingeschränkter Patienten resultiert. Eine exakte Einschätzung des perioperativen Risikos sowie der nach der Operation noch vorhandenen kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit dienen zum einen dazu jedem Patienten eine potentiell kurative Behandlung zu ermöglichen, zum anderen aber abzuwägen zu können wann die Wahrscheinlichkeit von schweren postoperativen Einschränkungen bzw. Komplikationen den Nutzen einer Operation übersteigt. Im Hinblick auf die Operabilität gelten Sollwerte, in deren Berechnung im Gegensatz zu absoluten Werten auch die Variablen Alter, Größe und Gewicht des Patienten einfließen. (12)

Die perioperative Letalität bzw. die Schwere der postoperativen Komplikationen hängt neben dem Ausmaß der Lungenresektion von der Ventilation, dem pulmonalen Gasaustausch, der pulmonalen Hämodynamik sowie der kardialen Belastbarkeit ab. (12)

1.3.1 Operabilität

Um einem Patienten einen lungenresezierenden Eingriff zu unterziehen muss im Vorfeld abgeklärt werden ob er für eine Operation in dem jeweiligen Ausmaß geeignet ist. Hierbei unterscheiden *Mutlak et al.* (11) drei Arten von Inoperabilität: Bestehen stark einschränkende Begleiterkrankungen oder ein stark reduzierter Allgemeinzustand spricht man von „funktioneller Inoperabilität“. „Anatomische Inoperabilität“ besteht wenn der Tumor schon umliegende Organe und Strukturen, wie zum Beispiel Ösophagus, Wirbelsäule, Aorta oder das Herz infiltriert hat. Erfüllt ein Patient die Voraussetzungen der funktionellen und anatomischen Operabilität, gilt es mittels Stufenschema die kardiorespiratorische Resektabilität zu beurteilen.

1.3.2 Risikofaktoren

Es wird generell zwischen pulmonalen und extrapulmonalen Risikofaktoren unterschieden. Zu den weitaus wichtigeren pulmonalen Risikofaktoren, die zur Risikoprädilektion verwendet werden zählen Störungen die wesentlichen Einfluss auf die Lungenfunktion haben. Das sind neben Einschränkungen der Atemmechanik Störungen des Gasaustausches. Ebenso wird die postoperativ zu erwartende Einschränkung der Lungenfunktion (ppo) hinzugezählt.

Die weniger wichtigen extrapulmonalen Risikofaktoren betreffen das Alter und die kardiale Situation des Patienten. Hierbei ist weniger das absolute Lebensalter des Patienten entscheidend, sondern das Ausmaß von Begleiterkrankungen. Daraus resultiert dass das chronologische Alter allein nicht als Kontraindikation für eine lungenresezierende Operation gilt. (11) Für Patienten über 70 Jahren und Lobektomie geben *Varela et al.* (13) eine Letalitätsrate von 4-7%, bei Pneumonektomie von 14% an. Im Vergleich dem gegenüber steht bei Patienten unter 70 Jahren eine Letalitätsrate von 1-4% bzw. 5-9%. Grund hierfür ist unter anderem, dass mit Zunahme des Alters auch die Häufigkeit und Schwere der Begleiterkrankungen ansteigen.

Als kardiales Risiko gelten ein abnormales EKG, belastungsindizierte thorakale Schmerzen (Angina Pectoris) sowie ein im vorangegangenen halben Jahr erlittener Myokardinfarkt. Liegt einer dieser Befunde vor, sollte ein Belastungs-EKG folgen. Weitere kardiologische Diagnostik bzw. Behandlung sind bei im Belastungs-EKG aufgetretenen Ischämiezeichen, nicht ausreichender Belastbarkeit ($<1,25$ Watt/kg KG) sowie einem ungenügenden Herzfrequenzanstieg ($<100/\text{min.}$) indiziert. (12)

1.3.3 Einschränkung der Aussagekraft

Unmittelbar postoperativ ist der Zustand des Patienten in der Regel aufgrund verschiedenster Ursachen deutlich schlechter als präoperativ ermittelt. Die ppo der FeV_1 zum Beispiel erreicht erst nach etwa 3 bis 6 Monaten den ursprünglich berechneten Wert. Die Gründe hierfür liegen außer an der infolge der Resektion verkleinerten Lungenoberfläche, auch in der operationsbedingt gestörten Atemmechanik mit schmerzbedingter Hypoventilation, Ansammlung von Bronchialsekret, Mikroatelektasen, einer möglichen Fehlfunktion des Zwerchfells, hyperreagiblen Bronchialsystem und einer verminderten Aktivität des oberflächenaktiven „Surfactant“. (11)

Eine Untersuchung von *Varela et al.* (13) konnte zeigen dass lobektomierte Patienten am ersten postoperativen Tag eine um etwa 30% geringere FeV_1 aufwiesen als die davor ermittelte ppo FeV_1 zu erwarten ließe.

Die Messung der Lungenfunktionsparameter sollte in bestmöglichem Zustand des Patienten erfolgen: Eine Nikotinkarenz von zumindest 8 Wochen sowie eine Einleitung bzw. Optimierung einer bronchodilatativen Therapie führen zu einer Reduktion von postoperativen Komplikationen. Die Untersuchung sollte daher erst unter entsprechender

Therapie erfolgen. Eine akute Infektion der oberen Atemwege ist mit einem erhöhten Risiko postoperativer Pneumonie verbunden und sollte weitestgehend ausgeschlossen werden. (11) (12)

Dem Patienten sollte im Rahmen der Diagnosefindung deutlich nahegelegt werden so früh wie möglich das Rauchen zu unterlassen, im Falle eines Malignoms sollte aber unter keinen Umständen die Operation unnötigerweise verzögert werden. (14)

1.3.4 Risikoklassen

Die Europäische Gesellschaft für Atemwegserkrankungen (ERS) und die Europäische Gesellschaft für Thoraxchirurgie (ESTS) teilen die Patienten bei der präoperativen Evaluation in 3 Gruppen ein:

Gruppe	Einschränkung/Risikogruppe	Mögliche Operation
1	Starke Funktionseinschränkung: Hochrisikopatienten	Weder Lobektomie noch Pneumonektomie → Konservative (palliative) Behandlung
2	Mittlere Funktionseinschränkung: erhöhtes/hohes Risiko	Resektion je nach der zu erwartenden postoperativen Lungenfunktion
3	Keine Funktionseinschränkung: Normales Risiko	Resektion bis zu Pneumonektomie möglich

Tabelle 1. Risikoklassifikation präoperativ nach *Mutlak et al.* (11)

1.3.5 Lungenfunktionsdiagnostik

Die präoperative Evaluierung vor thoraxchirurgischen Eingriffen umfasst die mittels Spirometrie (FEV₁) und Spiroergometrie (VO₂max) gemessene Lungenfunktionsparameter aus denen die postoperativ zu erwartende Lungenfunktion errechnet werden kann. (11)

SPIROMETRIE. Die FEV₁ ist unter allen Lungenfunktionsparametern derjenige mit dem höchsten prädiktiven Wert. Sie spiegelt das Ausmaß einer Obstruktion, einer restriktiven Störung sowie einer Instabilität der Atemwege wider. (12)

Untersuchungen haben bestätigt, dass bei einer FEV₁ von >2 Liter eine Pneumonektomie, bei >1,5 Liter eine Lobektomie und bei einer FEV₁ von unter einem Liter eine Segment- oder Subsegmentresektion bei Letalitätsraten von unter 5% möglich sind. Diese absoluten Grenzwerte haben jedoch den Nachteil dass Patienten mit geringer Körpergröße, Ältere oder Frauen dadurch häufig nicht kurativ therapiert würden. Deshalb ist man dazu übergegangen die FEV₁ in Prozent eines Sollwerts, der Alter, Geschlecht und Körpergröße mit einschließt, anzugeben. Liegt dieser unter 80% des Wertes einer vergleichbaren Gruppe, schließt sich eine weitere Diagnostik an. (11)

Die den Gasaustausch an der alveolokapillären Membran messende Diffusionskapazität (DL_{co}) kann gemäß den ERS/ESTS Leitlinien als äquivalentes Maß für die perioperative Letalität mit der FEV₁ gleichgesetzt werden. (11)

SPIROERGOMETRIE. Unter den Belastungstests hat sich die Spiroergometrie („cardio-pulmonary exercise test“, CPET) etabliert und zählt heute zum Goldstandard in der präoperativen Diagnostik vor thoraxchirurgischen Eingriffen. Gemessen wird die maximale Sauerstoffaufnahme (VO₂max), welcher ein hoher prädiktiver Wert beigemessen wird. Diese repräsentiert die „generelle Fitness“ bzw. die noch vorhandenen Reserven der Lunge und spiegelt die Funktion des Sauerstofftransportsystems wider. Somit werden sowohl pulmonale als auch kardiale Risiken erfasst. Durch den vermehrten Blutfluss, Sauerstoffverbrauch und Kohlendioxid-Abgabe unter Belastung imitiert die Spiroergometrie postoperative Verhältnisse. Über eine vollständig abdichtende Maske wird eine beinahe stetige Gasanalyse durchgeführt, welche die VO₂ und VCO₂ (Kohlendioxidabgabe) im Verhältnis zu Ventilation und Perfusionswerten misst. Über die VO₂max können Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit des Herzkreislaufsystems des Patienten gezogen werden und das mögliche Resektionsausmaß eingegrenzt werden. Patienten denen aus Gründen einer eingeschränkten Belastungsfähigkeit eine Spiroergometrie nicht möglich ist, gelten a priori als Hochrisikopatienten. (11) (12)

Bei einer Untersuchung von *Bollinger et al.* kam es bei einem Erreichen von $VO_2\text{max}$ $>75\%$ des Sollwerts mit einer 90-prozentigen Wahrscheinlichkeit zu keinen Komplikationen. Lag der Wert $<43\%$ kam es in 90% zu Komplikationen. Daraus folgt dass bei einer $VO_2\text{max}$ von unter 60% des Sollwerts eine Operation die das Ausmaß einer Lobektomie überschreitet, kontraindiziert ist. (12)

1.3.6 Stufendiagnostik

Bei Patienten, bei denen eine funktionelle Operabilität nicht mittels einfacher Kriterien festgestellt werden kann, ist eine erweiterte Diagnostik erforderlich. (12)

Die Stufendiagnostik zur Ermittlung des perioperativen Risikos erfolgt nach dem in Abbildung 6 dargestellten Schema.

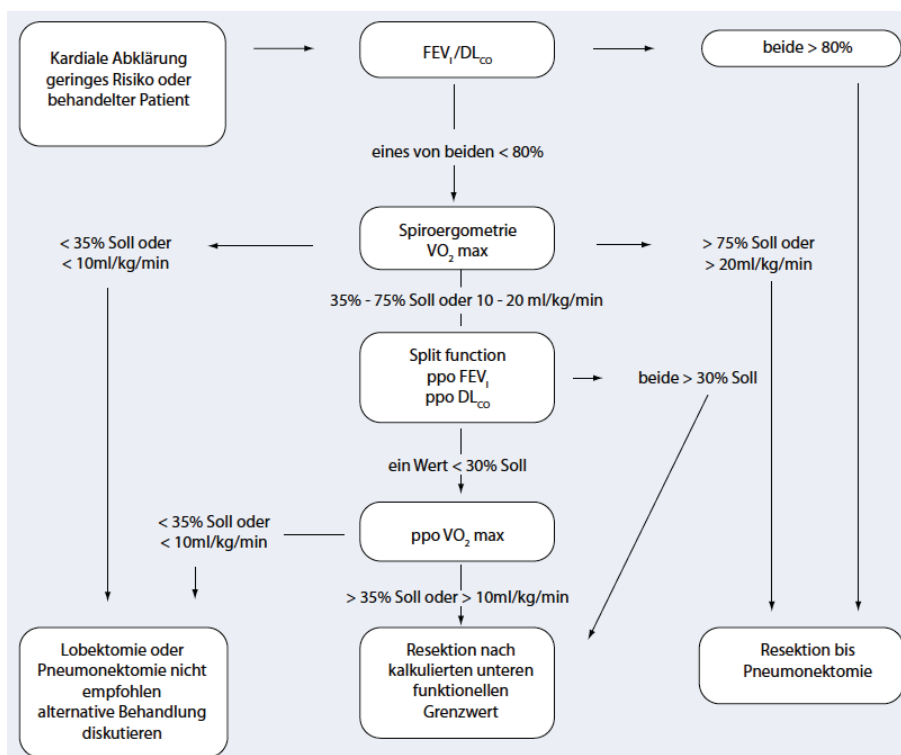


Abbildung 6. Präoperative Stufendiagnostik, nach *Mutlak et al.* (11)

<i>Perioperatives Risiko</i>	<i>VO₂max absolut</i>	<i>VO₂max/DLco</i>	<i>Mögliches Resektionsausmaß</i>
<i>normales Risiko</i>	>20 ml/kg/KG	>80%	bis Pneumonektomie
<i>erhöhtes/hohes Risiko</i>	>10 und <20 ml/kg/KG	>35% und <70%	je nach postoperativ kalkulierter LuFu
<i>Hochrisiko</i>	<10 ml/kg/KG	<35%	inoperabel

Tabelle 2. Einteilung des perioperativen Risikos, nach Mutlak et al. (11)

1.3.7 Besonderheiten der Thoraxchirurgie im Alter

Die WHO definiert 65- bis 75-Jährige als ältere, Personen die älter als 75 Jahre sind als alte Menschen. Während man früher ein hohes Alter als relative Kontraindikation für einen lungenresezierenden Eingriff sah, ist heute aufgrund höherer Lebenserwartung vielmehr der Tumor selbst der prognosebestimmende Faktor. Es ist jedoch zu betonen, dass die Vitalparameter, auch bei Nichtrauchern und nicht exogenen Noxen ausgesetzten Menschen physiologischerweise mit zunehmendem Alter deutlich abnehmen. Zwischen der 3. und 6. Dekade verdoppelt sich das Residualvolumen, die Vitalkapazität sowie die Diffusionskapazitäten sinken auf die Hälfte. Patienten höheren Alters weisen häufiger Begleiterkrankungen auf als jüngere, wobei der Schweregrad der Begleiterkrankungen mit dem Alter ebenfalls zunimmt. Arteriosklerotisch bedingte kardiovaskuläre Erkrankungen sowie obstruktive Lungenerkrankungen kommen in diesem Patientenkollektiv häufig vor. Vorhofflimmern, die häufigste kardiale Komplikation (20% bei Lobektomie) tritt bei Patienten in hohem Lebensalter signifikant häufiger auf.

Dennoch gelten mittlerweile thoraxchirurgische, resektive Eingriffe - wenn sie das Resektionsausmaß der Lobektomie nicht überstiegen - auch in hohem Alter als sicher und effektiv. (14)

Als prognostisch wertvoll und für die Indikationsstellung zur Resektion unabdingbar hat sich – in Kombination mit dem onkologischen Kriterium des Tumorstadiums und der FEV₁ - die ASA-Klassifikation erwiesen. Bei optimaler, also auch nicht zu defensiver, am besten interdisziplinärer Indikationsstellung, resultiert ein perioperatives Risiko das sich kaum von dem jüngerer Patienten unterscheidet. (14)

ASA 1	Gesunder Patient
ASA 2	Patient mit leichter systemischer Erkrankung
ASA 3	Patient mit schwerer systemischer Erkrankung (z.B. Angina Pectoris)
ASA 4	Patient mit lebensbedrohlicher systemischer Erkrankung (z.B. dekompensierte Herzinsuffizienz)
ASA 5	Moribunder Patient, der ohne Operation voraussichtlich nicht überleben würde (z.B. Aortenaneurysma)

Tabelle 3. ASA Klassifikation, aus Striebel Anästhesie – Intensivmedizin – Notfallmedizin. (10)

1.4 Das Lungenkarzinom

1.4.1 TNM-Staging

Die TNM-Klassifikation macht es möglich Lungentumoren bezüglich ihrer anatomischen Ausbreitung einheitlich und reproduzierbar zu beschreiben. (15)

Nach der Größe und Lage bzw. Infiltrationsverhalten des Primärtumors wird das Tumorstadium in T1 bis T4 eingeteilt. Nach neuester TNM-Klassifizierung differenziert man in T1a und T1b sowie in T2a und T2b. Die überwiegende Mehrheit der mittels VATS-Lobektomie operierten Patienten und auch der herangezogenen Vergleichsgruppe waren T1a oder T1b, eine geringe Anzahl auch T2a.

T	T1a ≤ 2cm	T1b > 2 cm ≤ 3 cm	T2a > 3 cm ≤ 5 cm	T2b > 5 cm ≤ 7 cm	T3 > 7 cm
N	N0 Kein Befall	N1 Ipsilateral	N2 Mediastinal Subkarinal	N3 Kontralateral Supraklavikulär skalenal	
M	M0 Keine Metastasen	M1 Fernmetastasen			
R	R0 Resektionsrand frei	R1 Resektionsrand nicht frei			

Tabelle 4. TNM-Klassifikation nach Lababede et al. (15) T, Primärtumor; N, regionäre Lymphknoten; M, Fernmetastasen; R, Resektionsrand.

1.5 Die chirurgische Lernkurve

1.5.1 Definition

Als Chirurgische Lernkurve wird die Verbesserung von chirurgischen Ergebnissen mit zunehmender Erfahrung des Operateurs im Verlauf der Zeit bezeichnet.

Bei Studien die verschiedene chirurgische Techniken miteinander vergleichen, muss dieser Lernkurveneffekte mit berücksichtigt werden.

Normalerweise wird bei Studien, welche unterschiedliche chirurgische Techniken untersuchen, den mitwirkenden Chirurgen entweder ausgiebiges Training und Supervision angeboten, oder es wird von ihnen eine obligate Mindestanzahl an bereits mit der jeweiligen Technik durchgeführten Eingriffen gefordert. (16) (17)

Böttger et al. stellten in einer prospektiven Beobachtungsstudie mit 180 Patienten am Beispiel der laparoskopischen Rektumchirurgie fest, dass ein Chirurg - Erfahrung in der offenen kolorektalen Chirurgie sowie Anfangserfahrung in der laparoskopischen Chirurgie, sowie allgemeines Interesse an der minimal-invasiven Chirurgie vorausgesetzt - 200 laparoskopische Colon- und ca. 35 laparoskopische Rektumresektionen durchführen muss bis seine individuelle Lernkurve, gemessen an Selektionsrate, Operationszeit sowie

Komplikationsrate, ein Plateau erreicht hat. Diese Lernkurve hängt jedoch von vielen, zum Großteil unbekanntem Faktoren ab. (18)

Eine andere Studie (19), welche die Lernkurve bei der perkutanen Nephrolitholapaxie (perkutaner Nierensteinentfernung) untersuchte, gibt die Anzahl der Operationen nach der sich ein Steady-State in Bezug auf die Operationsdauer einstellt mit 60 durchgeführten Operationen an.

1.5.2 Schwierigkeiten

Da das Messen des Lernens an sich schwierig ist, verwendet man objektivierbare Parameter für das Ergebnis am Patienten (Komplikationsrate, Überlebensrate, Schmerzmittelbedarf, Dauer des stationären Aufenthalts) sowie chirurgische Verlaufparameter wie Blutverlust, Operationsdauer, intraoperativer Flüssigkeitsbedarf, Bluttransfusion, Wechseln von der minimal-invasiven Methode zur offenen (sog. Konversion) als Maß für die Lernkurve (16) (17).

Individuelle Unterschiede der Patienten wie die Anatomie, Verwachsungen der Pleura, Tumorstadium, Adipositas oder Gerinnungsstörung sind äußerst komplex und werden in der Evaluierung daher stratifiziert.

Bei der Beurteilung der individuellen Lernkurve eines Chirurgen, muss stets bedacht werden dass seine Ergebnisse nicht allein auf seine individuellen Fähigkeiten zurückzuführen sind, sondern viele Faktoren als Bias auftreten können. Dazu gehören z.B. die Ausweitung der Indikationen für eine Verfahrenswahl sowie spezifische Umstände im Operationssaal. (20)

Selektionsbias treten auf, wenn ein Chirurg einerseits nur mehr Patienten mit geringem Komplikations- und Konversionsrisiko mit der zu untersuchenden Technik behandelt oder andererseits aufgrund zunehmender Erfahrung auch komplexere Fälle mit der neuen Technik operiert, was zweifelsfrei häufiger eine Konversion notwendig macht. (20)

Beim Erstellen einer individuellen Lernkurve eines Chirurgen für eine bestimmte Technik, ist zudem zwischen Parametern die sich ständig ändern (Operationszeit) und solchen die entweder eintreten oder nicht (Konversion) zu unterscheiden. (20)

1.6 Operationsverfahren

1.6.1 Lobektomie

Die Lobektomie stellt den häufigsten Eingriff beim Bronchialkarzinom dar.

Definitionsgemäß handelt es sich dabei um die Entfernung eines Lungenlappens entsprechend der anatomischen Grenzen.

Im Gegensatz dazu stehen einerseits die Pneumonektomie, bei der ein kompletter Lungenflügel entfernt wird (Indikation: zentrales Bronchialkarzinom), und andererseits die Segmentresektion (Indikation: Parenchymsparender Eingriff bei kleineren Bronchialkarzinomen und stark eingeschränkter Lungenfunktion) sowie die atypische Resektion. Bei der atypischen Resektion werden keilförmige Stücke peripherer Lungenanteile, sog. „Wedges“ reseziert. Diese ist für die onkologische Therapie auch für frühe Stadien des Lungenkarzinoms aber wenig geeignet, weil der Lymphabflussweg nicht mit einbezogen wird. (21)

1.6.1.1 Indikation

Es gibt eine Vielzahl von Erkrankungen der Lunge bei denen eine Lappenresektion indiziert ist. Neben benignen Tumoren, entzündlichen Erkrankungen wie Bronchiektasien, Lungenabszessen, Tuberkulose und Pilzerkrankungen sowie ungeklärten Rundherden bei denen ein Eingriff mit weniger Verlust an Lungengewebe nicht möglich ist, stellen pulmonale Malignome die Hauptindikation für Lobektomien dar.

Bei abgangsnahen Oberlappentumoren sowie bei linksseitigen Unterlappentumoren erfolgt die Lobektomie unter Entfernung eines Bronchusabschnittes sowie gegebenenfalls auch eines Segments der A. pulmonalis (sog. „Manschettenresektion“). (1)

1.6.1.2 Grundlegende Technik der Lobektomie

Zuerst wird die Vene des zu entfernenden Lungenlappens aufgesucht und präpariert. Danach durchtrennt man das Ligamentum Pulmonale.

Da es sich in den meisten Fällen um eine onkologische Operationsindikation handelt, wird die Lappenvene angeschlungen und ggf. auch gedrosselt um eine hämatogene Tumorausssaat weitestgehend zu vermeiden. Es ist dabei im Besonderen auf Schonung des N. phrenicus zu achten.

Im nächsten Schritt werden die Segmentarterien des betroffenen Lappens präpariert und angeschlungen, danach der zum entfernenden Lappen führende Bronchus identifiziert. Die Pulmonalvene wird nun mit dem Nähapparat (Stapler) verschlossen und abgesetzt, die segmentalen Arterien werden aufgrund ihrer brüchigen Wände entweder mit Ligaturen und Durchstechungsnähten okkludiert oder ebenfalls mit dem Stapler oder großen Hämoclips verschlossen. Der Verschluss des Lappenbronchus erfolgt dagegen praktisch immer mittels maschineller Naht.

Ist der zu entfernende Lappen zu den angrenzenden Lappen hin nicht oder nur ungenügend durch Septen abgegrenzt, erfolgt die Identifikation der Lappengrenzen indem man nach Absetzen des Bronchus die übrige Lunge belüftet. Das Resektat bleibt dabei atelektatisch. Am Ende werden noch ein bis zwei Thoraxdrains eingelegt. (9)

1.6.2 Thorakoskopische Verfahren

Ein Problem, das sich nicht nur Anfängern in der endoskopischen Chirurgie stellt, ist im Vergleich zur offenen Chirurgie die zweidimensionale Darstellung auf dem Monitor. Der Bildschirm zeigt zudem kleine Details in ungewohnter Perspektive, die sehr von der Position des Operateurs und der Zugänglichkeit des Operationsgebietes abhängt.

Eine gute Kameraführung mit optimaler Einstellung des Operationsgebietes ist die Voraussetzung für eine erfolgreiche thorakoskopische Operation. (22)

1.6.2.1 VATS-Lobektomie

DEFINITION. Aufgrund der vielen unterschiedlichen Methoden in den verschiedenen thoraxchirurgischen Zentren, war zum systematischen Vergleich der VATS-Lobektomie in multizentrischen Studien, und zu deren Vergleich mit dem offenen Verfahren eine

einheitliche Definition erforderlich. Die „Cancer and Leukemia Group B“ (CALGB) definiert die VATS-Lobektomie als eine „anatomische Lobektomie mit separater Dissektion der hilären Strukturen und Lymphknoten-Dissektion (oder -Sampling) über 2-4 Inzisionen ohne Verwendung eines Rippenspreitzers. Der Lungenlappen wird dabei über eine auf bis zu 8 cm erweiterte Inzision in einem Beugebeutel entfernt. (23)

INDIKATIONEN. Die Indikationen für eine VATS-Lobektomie sind noch nicht klar definiert. (24) Grundsätzlich geht man jedoch davon aus, dass in erster Linie frühe Tumorstadien ohne wesentlichen Lymphknotenbefall von der Methode profitieren. Weitere Voraussetzungen sind periphere Lage des Tumors sowie ein weitgehend freier Pleuraspalt. Tumoren höheren Stadiums bzw. Patienten bei denen die genannten Voraussetzungen nicht erfüllt sind werden nach wie vor offen operiert.

LAGERUNG. Die Patienten werden - ähnlich wie bei der posterolateralen Thorakotomie - seitlich mit abgeknicktem Operationstisch und Positionierung des Armes über den Kopf gelagert. Hierdurch werden die Zwischenrippenräume erweitert und eine bestmögliche Exkursion für die endoskopischen Instrumente erzielt.

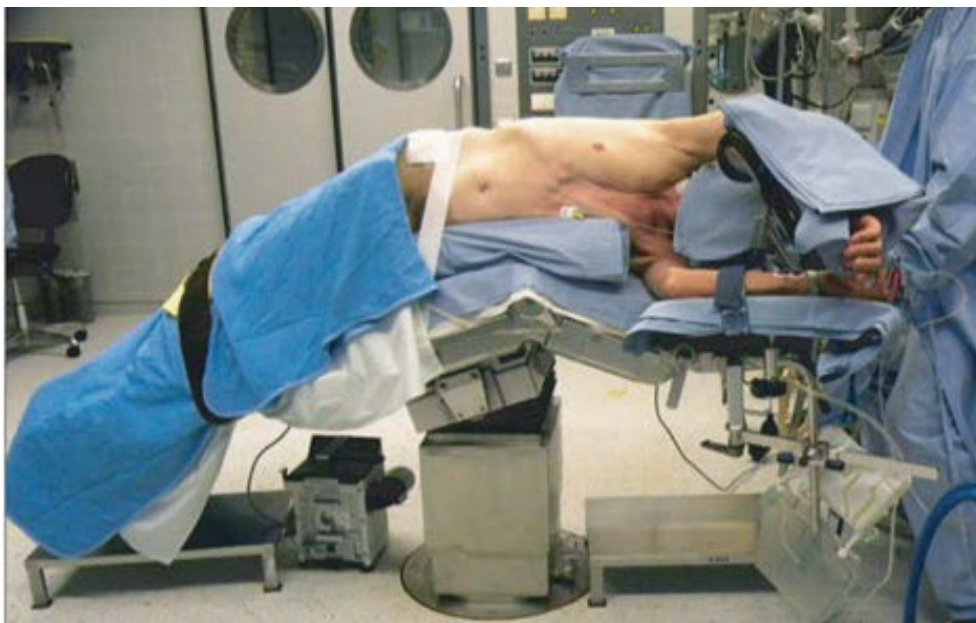


Abbildung 7. Lagerung für eine Rechtsseitige Lobektomie. (23)

ZUGÄNGE. Für gewöhnlich genügen beim standardisierten Zugang 3 Inzisionen, über die alle Strukturen am Lungenhilus erreicht werden können.

Über einen kaudal/anterioren Zugang im 7. oder 8. Interkostalraum in der mittleren Axillarlinie wird über einen starren Troikar die erste Port-Inzision gesetzt und zunächst die Kamera (10-mm-Optik, 30°) eingeführt. Diese Öffnung dient außerdem vor Beendigung der Operation zur Einlage der Thoraxsaugdrainage. Als nächster Schritt wird die Pleurahöhle auf Adhäsionen und andere grobe Veränderungen inspiziert. In der Folge inzidiert man am Hinterrand des Musculus pectoralis major (entsprechend ungefähr der Höhe der Lungenvene des betroffenen Lappens) und erweitert die Thorakozentese bis auf etwa 6 cm (sog. Minithorakotomie). Gegebenenfalls wird zum Schutz der Weichteile ein Wundprotektor eingesetzt über den man auch ohne Bergesack im Rahmen der Lymphknotendisektion lymphatisches Gewebe entfernen kann, ohne Gefahr zu laufen, eine Implantationsmetastase zu setzen. Ca. eine Handbreite dorsal und einen ICR kranial des kaudalen (anterioren) Zugangs wird die dritte Port-Inzision gesetzt.



Abbildung 8. Markierung der Inzisionen für den Zugang bei einer VATS-Lobektomie. (23)

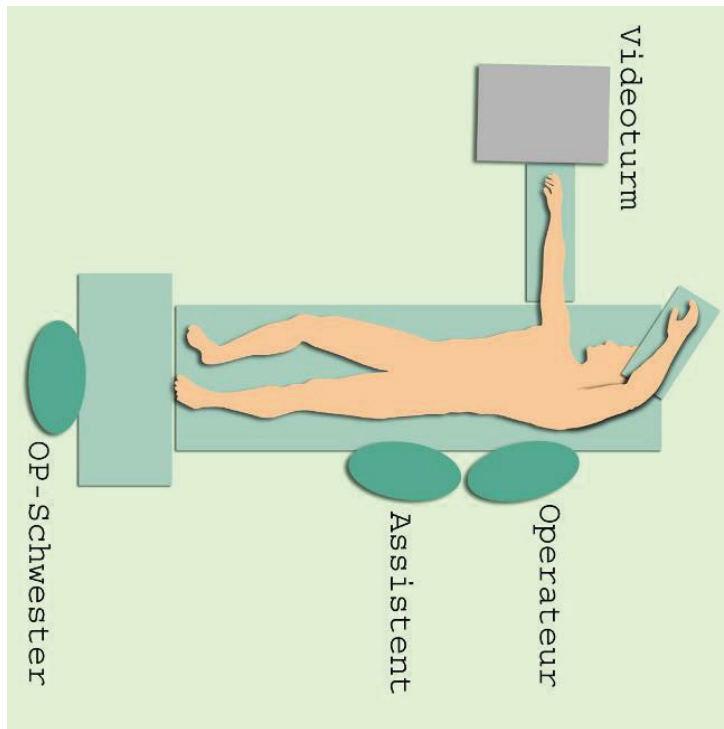


Abbildung 9. Positionierung des Operationsteams bei einer VATS-Lobektomie. (44)

LOBEKTOMIE UND VERWENDETE INSTRUMENTE. Die Präparation der vasculären Strukturen, der Lymphknoten und der Bronchien erfolgt einerseits stumpf mittels Präpariertupfern, andererseits unter Verwendung von elektrochirurgischen Instrumentarium. Das Absetzen der großen Gefäße und des Lappenbronchus wird mit Hilfe eines Staplers durchgeführt, der gleichzeitig beidseitige Naht und Verschluss gewährleistet. Residuale Parenchymbrücken zwischen den Lappen werden ebenfalls mit dem Stapler durchtrennt. Anschließend wird der Lappen mit dem Bergebeutel gefasst, und vorsichtig über die Mini-Thorakotomie geborgen.

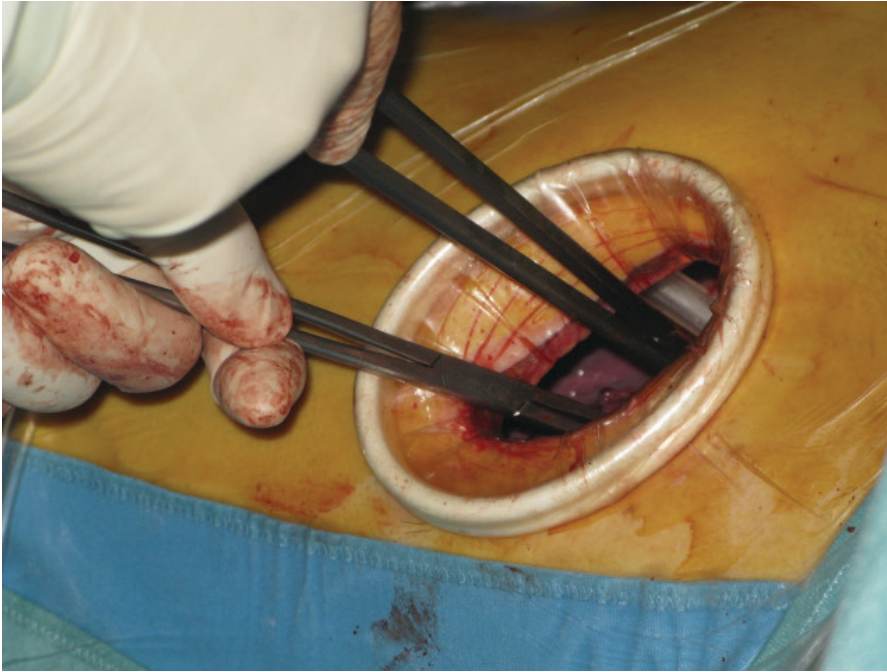


Abbildung 10. VATS-Lobektomie über den Wundprotector. Bild aus dem Archiv der klinischen Abteilung für Thoraxchirurgie und Hyperbare Chirurgie, LKH Universitätsklinikum Graz.

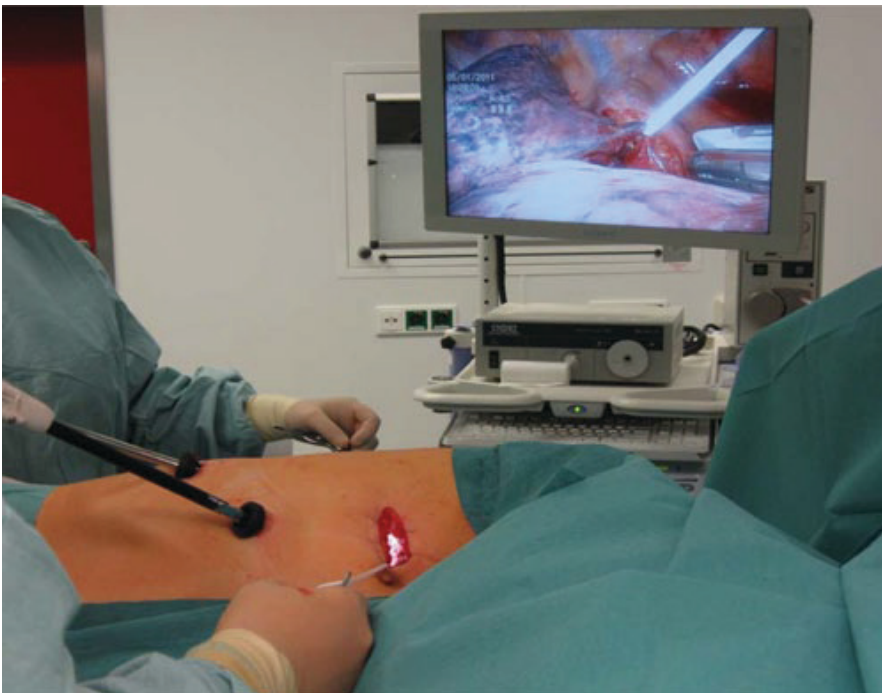


Abbildung 11. Anschlingen und Absetzen der Lungenvene mittels Endo-Stapler. (22)

LYMPHKNOTENDISSEKTION. Die ipsilateralen Lymphknoten werden komplett entfernt: Rechts sind das die Stationen 4, 7, 8, und 9, links die Stationen 5, 6, 7, 8, und 9. Die interlobären Lymphknoten werden seitenunabhängig in jedem Fall entfernt.

OPERATIONSENDE. Bevor die Zugänge schichtweise aber ohne perikostale Nähte verschlossen werden, ist stets auf mögliche Blutungsquellen hin zu prüfen und mittels Unterwasserprobe auf Luftdichtigkeit zu kontrollieren. Um die postoperativen Schmerzen so gering wie möglich zu halten, injiziert man um die Inzisionen im Ausmaß von etwa 5-6 Interkostalräumen jeweils 15-20ml eines Lokalanästetikums (z.B. Bupivacain-Lösung 0,25%). Über den kaudalen Zugang wird die Bülau-Drainage eingelegt und über eine subkutane Tunnelierung ausgeleitet. (23)

1.6.3 Offene Verfahren

1.6.3.1 Posterolaterale Thorakotomie

LAGERUNG. Der Patient liegt mit der nicht zu operierenden Seite nach unten, auf Höhe des Nabels wird der Operationstisch abgeknickt. Der oben liegende Arm wird über den Kopf gelagert, dabei weicht die Skapula nach kranial, wodurch der Zugang erleichtert wird. Es ist darauf zu achten dass dabei der Armplexus nicht geschädigt wird.

SCHNITTFÜHRUNG. Je nach Lokalisation der Pathologie eröffnet man den Thorax im Bett der 4., 5. oder 6. Rippe. Bei Oberlappeneingriffen geht man am Unterrand der 5., ansonsten der 6. Rippe ein. Man beginnt mit der Inzision in der vorderen Axillarlinie und führt den Schnitt etwa 2-3 cm unter der Spitze des Schulterblatts vorbei, weiter schräg nach kranial um das Schulterblatt herum bis man die Mitte zwischen Skapula und Wirbelsäule erreicht.

DURCHTRENNUNG DER EINZELNEN SCHICHTEN. Nachdem die Haut sowie die oberflächliche Thoraxfaszie mit dem Skalpell vollständig durchtrennt ist, folgt in diesem Bereich die partielle Durchtrennung des M. latissimus dorsi mit dem Elektrokauter, der M. serratus anterior wird lediglich nach ventral gezogen, die Fascia thoracodorsalis durchtrennt. Unter Schonung der Interkostalgefäße wird die Interkostalmuskulatur von der darüberliegenden Rippe abgeschoben, und die Pleura eröffnet. Ein Rippenspreitzer wird eingebracht und das Operationsfeld durch allmähliches Öffnen des Gerätes exponiert.

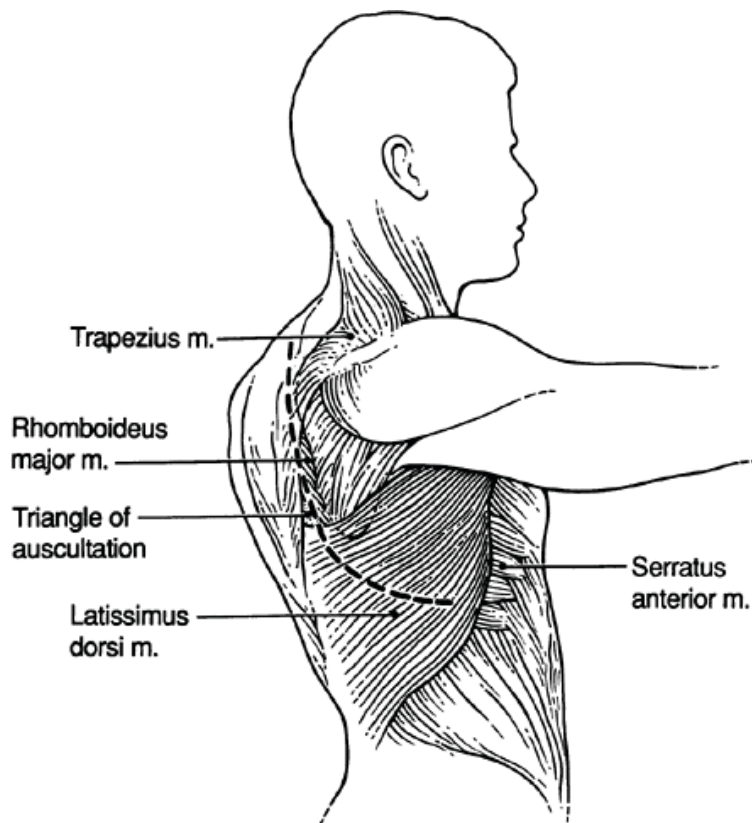


Abbildung 12. Klassische posterolaterale Schnittführung. (45)

THORAXWANDVERSCHLUSS. Nach Einlegen von ein bis zwei Saugdrainagen werden die Rippen mittels Perikostalnähten in ihre ursprüngliche Position gebracht, wobei das Interkostalbündel nach kranial fixiert wird, und so die Luftdichtigkeit der Pleurahöhle wiederherstellt. Um die postoperativen Schmerzen so niedrig wie möglich zu halten infiltriert man die betroffenen Interkostalnerven mit einem langwirksamen Lokalanästhetikum. Die Muskulatur wird durch Fortlaufnähte rekonstruiert, die übrigen Weichteile adaptiert. Die Haut wird geklammert. (25) (1) (26)

1.6.3.2 Anterolaterale Thorakotomie

Was das funktionelle Outcome anbelangt ist die anterolaterale Thorakotomie aufgrund ihres muskelsparenden Charakters der posterolateralen Thorakotomie deutlich überlegen. Die Fasern des M. pectoralis major werden dabei nicht durchtrennt sondern einzig und allein auseinandergedrängt. Auch alle übrigen Muskeln der Brustwand bleiben unversehrt.

SCHNITTFÜHRUNG. Ausgehend von einem Punkt ca. 2 cm lateral des Sternums führt man den Hautschnitt submammär zur tastbaren Spitze des Schulterblatts. Welcher

Interkostalraum eröffnet wird hängt wiederum vom Ziel der Operation ab. Prinzipiell ist der Zugang umso leichter je tiefer der gewählte Interkostalraum gelegen ist. Sollte ein größerer Zugang notwendig sein, kann ein kurzes Rippenknorpelsegment der kranial der Inzision gelegenen Rippe von subperichondral reseziert werden. Der jeweilige interkostale Gefäßstrang muss dabei ligiert und durchtrennt werden.

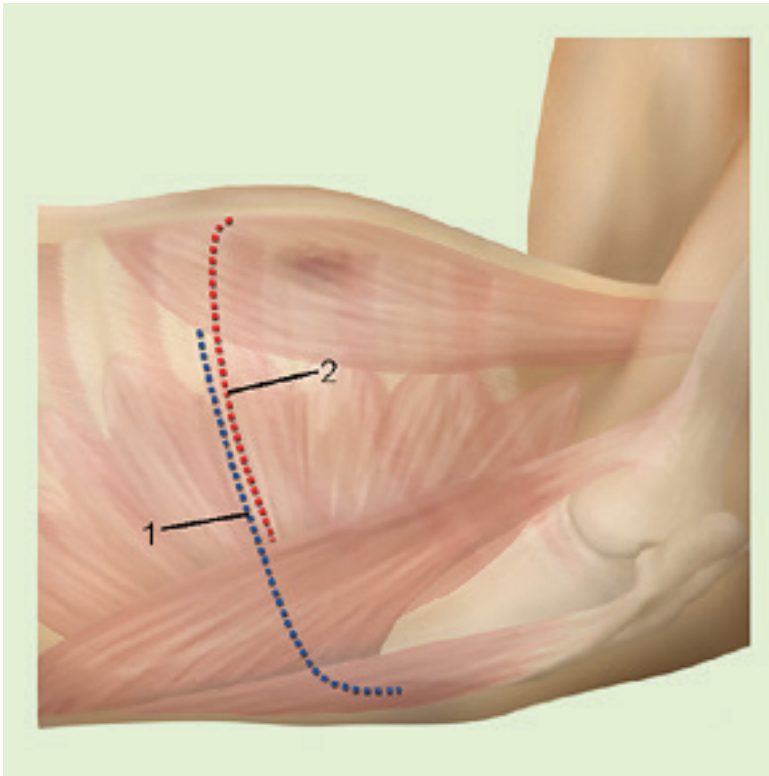


Abbildung 13. Schnittführung bei posterolateraler – [Ziffer 1] und anterolateraler Thorakotomie [Ziffer 2]. (46)

THORAXWANDVERSCHLUSS. Der Verschluss der anterolateralen Thorakotomie erfolgt in ähnlicher Weise wie bei der posterolateralen Thorakotomie. (1)

1.6.3.3 Postthorakotomie-Syndrom

Anhaltende Schmerzen, Brennen sowie Dysästhesien im umliegenden Bereich der Inzision welche mindestens 2 Monate anhalten wird als Postthorakotomiesyndrom zusammengefasst. Als Ursache wird die Schädigung eines interkostalen Nervenstranges angenommen, wobei der genaue Mechanismus noch nicht bekannt ist.

Das Schmerzsyndrom tritt ungefähr bei der Hälfte aller Patienten nach Thorakotomie auf, die Intensität wird für gewöhnlich als mild bis moderat angegeben. In 5% der Fälle ist der Schmerz jedoch stark und beeinträchtigend (27) und kann sogar eine Erwerbsunfähigkeit nach sich ziehen. (28) *Gotoda et al.* (29) kamen zum Ergebnis dass Schmerzen im ersten Monat nach Thorakotomie häufig sind. Bei 40% der Patienten verschlechtern sie sich, bei 50% bessern sie sich jedoch innerhalb des ersten postoperativen Jahres. Dieselbe Studie konnte als Prädiktoren für anhaltende Schmerzen, sowohl im ersten postoperativen Monat als auch ein Jahr danach, das weibliche Geschlecht und starke Schmerzen am ersten postoperativen Tag identifizieren.

Über die genauen Hintergründe die für eine Chronifizierung ausschlaggebend sind ist noch wenig bekannt. In der Studie von *Katz et al.* (30) war der Grad der unmittelbar postoperativen Schmerzen als einziger signifikanter Prädiktor zu erkennen. Er war unter denjenigen Patienten am stärksten ausgeprägt, die auch in weiterer Folge ein chronisches Postthorakotomie-Syndrom entwickelt hatten.

Ein multimodales, aggressives perioperatives Therapiekonzept stellt daher die Grundlage der Vorbeugung sowie Behandlung des Postthorakotomie-Syndroms dar. (28)

1.6.4 Die Thoraxsaugdrainage

Die Thoraxsaugdrainage dient der Evakuierung von intrapleuralem Fremdinhalten wie Luft (Pneumothorax) oder Flüssigkeiten (Erguss, Eiter, Blut). Auch bei der im Operationssaal elektiv angelegten Drainage wird die ursprünglich für den Notfall entwickelte digitale (stumpfe) Thorakozenese angewandt. Der Vorteil dabei ist dass diese Technik weniger traumatisch ist, vor allem auch im Hinblick auf Verletzungen von inneren (thoraxnahen) Organen. (9)

In der Regel werden nach thoraxchirurgischen Eingriffen ein bis zwei, in gewissen Fällen auch mehr Drainagen gelegt. Der in erster Linie Luft evakuierende Schlauch (Apikaldrain) wird apikal und ventral, das Basaldrain der vorwiegend Flüssigkeit drainiert wird dorsal über dem Zwerchfell platziert. (31)

Die Drains müssen in jedem Fall starr und weitlumig (mindestens 9mm) sein, da sonst die Gefahr der Abklemmung oder Verstopfung besteht und dies eine Sekretretention zur Folge hätte. Die sog. „Bülau-Drainage“, besteht aus zwei Gefäßen wovon in das erste das Sekret („Sekretflasche“) fließt. Mit diesem über einen weiteren Schlauch verbunden ist die „Wasserflasche“, in der ein Unterdruck von 12cmH₂O (sog. „Unterwasserschloss“) erzeugt wird und über die Luft über ein weiteres, sog. „Heberohr“ entweichen kann. (32)

1.6.4.1 Beurteilung und Entfernung der Thoraxsaugdrainage

BEURTEILUNG. Ob sich eine Thoraxdrainage in korrekter Lage befindet, kann daran erkannt werden dass sie weder „spielt“ noch „fistelt“. Unter Spielen versteht man, dass sich die im Schlauch befindliche Flüssigkeit bei Inspiration aufgrund des Unterdrucks im Pleuraspalt zum Patienten hin bewegt, bei Expiration entfernt sie sich vom Patienten. Ist die im Pleuraspalt vorhandene Luft noch nicht vollständig drainiert oder besteht weiterhin eine Verletzung der viszeralen Pleura, selten des Tracheobronchialsystems, gelangt Luft in den Pleuraspalt welche nach außen transportiert wird. Dieses Wandern der Luftblasen bezeichnet man als Fisteln. Außer den oben genannten Gründen können auch eine Dislokation der Drainage, eine undichte Verbindung zwischen dem Thoraxdrain und dem Saugsystem oder evtl. sogar ein bei der Fixierung angestochenes Drain ursächlich für ein Fisteln sein und sind daher als mögliche Fehlerquellen stets auszuschließen.

Die Qualität und Quantität des geförderten Sekrets ist zu dokumentieren. Normales postoperatives Sekret ist blutig-serös. Hämorrhagisches, purulentes (trübes) oder in jeglicher Weise verändertes Sekret gilt als pathologisch. (33)

ENTFERNUNG. Die im Kontrollröntgen zufriedenstellend entfaltete Lunge ist Voraussetzung für die Entfernung von Thoraxdrains. Darüber hinaus darf kein Luftverlust über das Drain nachweisbar sein und die Fördermenge bei akzeptabler Sekretqualität darf pro 24 Stunden die Grenze von 100ml bis 150 ml nicht übersteigen. (33) (34) (9)

Nach Sistieren eines allfälligen Luftverlustes wird das Drain vor dessen Entfernung probegeklemmt. Ist die nach 24 Stunden durchgeführte Röntgenkontrolle unauffällig wird das Thoraxdrain entfernt. (9)

Ein luftdichter Verband an der Drainstelle garantiert deren Abheilung ohne Lufteintritt von außen. Man belässt den Verband für mindestens 2 Tage. Zwei Stunden nach Entfernung gilt es als obligat zum Ausschluss eines Pneumothorax ein Röntgen-Thorax Bild anzufertigen. (33)

1.6.5 Postoperative Komplikationen nach Lungenresektion

1.6.5.1 Pneumothorax und Erguss

Wird der unter physiologischen Bedingungen vorhandene Unterdruck, von normalerweise 8-12cm Wassersäule, aufgehoben, was bei Verletzungen von Luft- enthaltenden Organe wie dem Tracheobronchialsystem, dem Ösophagus oder der Lunge sowie bei Verletzungen von außen oder chirurgischen Eingriffen wie etwa einer Lobektomie der Fall ist, wird Luft in den Pleuraspalt gesaugt. Der intrapleurale Druck gleicht sich dabei dem Umgebungsdruck an und die betroffene Lunge kollabiert. (9)

Entsteht ein Ventilmechanismus, sodass Luft atemsynchron zwar in den Pleuraspalt hinein gelangt, aus diesem aber nicht mehr entweichen kann, kommt es innerhalb weniger Minuten zu einem Spannungspneumothorax. Wird nicht interveniert kommt es zu Mediastinalshift mit Abknicken der Hohlvenen, Kompression der Atrien, Leerschlagen des Herzens infolge fehlenden venösen Rückflusses und in weiterer Folge zum Tod. (8)

Auch eine massive Ansammlung von Flüssigkeiten (Erguss, Eiter, Blut) führt zu einem Überdruck in der Pleurahöhle und damit zu einer Kompression der Lunge. (9)

1.6.5.2 Atelektasen

Um größere atelektatische Bezirke unmittelbar postoperativ zu vermeiden wird die operierte Lunge vor Beendigung der Operation gut gebläht. Trotzdem kommt es infolge von schmerzbedingt vermindertem Abhusten von Bronchialschleim auf der operierten Seite häufig zu Mucostase und in der Folge zu Atelektasen. Im postoperativen Setting

können Atelektasen durch intensive Physiotherapie, Mucolyse bzw. durch bronchoskopisches Absaugen verringert werden. (1) Postoperativ ist sehr selten die Torquierung eines Lungenlappens, meist des Mittellappens oder der Lingula Ursache einer Minderbelüftung. In diesem Fall ist eine frühzeitige Reoperation erforderlich.

1.6.5.3 Nachblutung

Typische Ursachen einer Nachblutung sind thoraxwandseitige, aus Interkostalarterien gespeiste Stümpfe gelöster pleuraler Adhäsionen, bzw. Blutung aus Bronchialarterien nach mediastinaler Lymphadenektomie. Das Risiko einer Nachblutung kann durch exakte intraoperative Blutstillung, und durch gute Re-Expansion der Restlunge reduziert werden. Bei akuten massiven Blutverlusten sowie bei kontinuierlichen Blutungen von mehr als 250 ml pro Stunde über einen Zeitraum von vier Stunden ist eine Reoperation angezeigt.

Persistiert eine leichte Blutung, so bildet sich ein intrathorakales Koagel aus. Dieses stellt ab einer Größe von etwa einem Viertel des Hemithorax ebenfalls eine Indikation für die Reoperation dar. (1)

1.6.5.4 Parenchymfistel

Durch Widerlagernaht mit monophilen resorbierbaren Fäden lassen sich Parenchymfisteln intraoperativ gut verschließen. Durch frühzeitige Extubation werden hohe postoperative Beatmungsdrücke, die Parenchymfisteln begünstigen, vermieden. Bei peripheren Parenchymfisteln ist ein Abwartendes Vorgehen in den meisten Fällen angebracht. Ein vorübergehendes Erhöhen des Unterdrucks der Saugdrainage (20 bis 40 cm H₂O) unterstützt die Ausdehnung der restlichen Lunge und begünstigt so das Verkleben der Öffnungen, bis kein Luftverlust über das Drain mehr nachweisbar ist. Besteht eine Fistel jedoch über einen längeren Zeitraum indiziert dies eine Reoperation. (1)

Ein Radiologischer Pneumothorax ist nicht gleichbedeutend mit Fistel: Bei den meisten Patienten besteht durch den Verlust eines Lappens nach einer Lobektomie ein Pneumothorax e-vacuo von geringem Ausmaß. Diese Pneumothoraces resorbieren sich jedoch für gewöhnlich spontan innerhalb weniger Wochen, während die Restlunge langsam den Raum ausfüllt. Luftverlust über das Drain ist in diesen Fällen nicht vorhanden.

1.6.5.5 Bronchusstumpfinsuffizienz

Der abgetrennte Bronchus kann perioperativ oder im weiteren Verlauf nach Wochen oder Monaten insuffizient werden. Als Ursachen gelten u.a. eine insuffiziente Nahttechnik, Infektion der Nahtreihe oder unzureichende Blutversorgung infolge zu stark ausgedehnter Präparation an der Bronchuswand.

Diagnostische Hinweise sind klinisch ein Abhusten von blutig tingiertem, pleuralen Sekret und rascher Anstieg der Entzündungsparameter, radiologisch ein zunehmender Sero-Pneumothorax. Die Diagnose wird durch die Bronchoskopie gesichert.

Absolute Indikation für eine Rethorakotomie ist ein permanentes Entweichen großer Luftmengen aus der Bülau-Drainage unmittelbar nach der Operation. Tritt eine Bronchusstumpfinsuffizienz nach Lobektomie erst im späteren Verlauf auf, wird der Bronchus nachreseziert, neuerlich verschlossen und mittels Muskellappen oder anderem vitalem Material gedeckt. (1)

2 Patienten und Methoden

Bis Herbst 2011 wurden an der Klinischen Abteilung Thoraxchirurgie und Hyperbare Chirurgie an der Medizinischen Universität Graz alle Lobektomien über laterale Thorakotomie durchgeführt. Seit Implementation der VATS-Lobektomien werden Lungentumoren des Stadiums AI und AII vorwiegend in minimalinvasiver, thorakoskopischer Technik (VATS) lobektomiert.

In der vorliegenden retrospektiven Analyse wurden alle Patienten erfasst, welche bis zum Zeitpunkt der Datenauswertung an der Klinischen Abteilung für Thorax- und Hyperbare Chirurgie der Medizinischen Universität Graz einer minimalinvasiven „VATS-Lobektomie“ unterzogen wurden. Als Vergleichskollektiv wurden Patienten herangezogen, welche in den letzten Jahren vor Implementation der VATS-Lobektomie in konventioneller Technik operiert worden waren. An tumorspezifischen Daten wurden Tumorgröße, regionärer Lymphknotenbefall, Metastasen und Resektionsrand in die vorliegende Studie einbezogen. Weitere zentrale Parameter umfassten neben basalen biometrischen Daten Operationsdauer, Verweildauer der Thoraxdrainagen, stationäre Verweildauer, Intensität postoperativer Schmerzen gemessen an der visuellen Analogskala, Dauer postoperativer Schmerzmedikation und Komplikationen. Die untersuchten Parameter sind in Tabelle 5 aufgelistet.

<p>Allgemeine Daten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Name • Vorname • Geburtsdatum • Geschlecht 	<p>Angaben zum körperlichen Zustand des Patienten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Größe • Gewicht • Nikotinanamnese • COPD • FeV₁ in Liter • VO₂max • KHK • PAVK
<p>Angaben zum Tumor</p> <ul style="list-style-type: none"> • Peripherer Tumor • Max. Tumor Tumordurchmesser in cm • pT-, pN-, M-, R-, v-, l- Stadium 	<p>Angaben zur Operation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Operationsdatum • VATS-Lobektomie • Konventionelle Lobektomie • Operationsdauer • Operateur • Lungenlappen • Komplette Lymphadenektomie
<p>Angaben zu postoperativen Schmerzen</p> <ul style="list-style-type: none"> • NRS 1-10 die ersten 6 postoperativen Tage • Parenterale Schmerzmedikation benötigt 	<p>Angaben zu Komplikationen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Konversion • Ursache der Konversion • Drainagedauer • Luftfistel

Tabelle 5. Untersuchungsparameter.

2.1 Größe des Patientenkollektivs

Das Kollektiv der VATS-Lobektomie umfasste insgesamt 54 Patienten, die im Zeitraum vom Oktober 2011 bis zum Jänner 2013 operiert worden waren. Das Vergleichskollektiv – bestehend aus 44 Patienten mit vergleichbaren T-Stadium (T1a, T1b, T2a) die mittels konventioneller Methode operiert worden waren – stammt aus dem Zeitraum Februar 2009 bis August 2012.

2.2 Studienaufbau

Am Beginn stand die Erhebung der Daten. Nach Erlangen des positivem Ethikkommissionsvotums (EK-Nr. 25-367 ex 12/13) wurden die an der Thoraxchirurgischen Abteilung vorhandenen Krankenakten in Papier- bzw. elektronischer Form (MEDOCS®) ausgehoben und hinsichtlich der Einschluss- bzw. Ausschlusskriterien geprüft. Als Einschlusskriterien galten VATS- bzw. konventionelle -stets singuläre- Lobektomie bei einem T-Stadium von maximal T2b. Ausgeschlossen wurden Patienten, welche die Einschlusskriterien nicht erfüllt hatten oder bilobektomiert worden waren. Die Patientenakten wurden anonymisiert, und in eine Microsoft® EXCEL®-Tabelle eingetragen. Die statistische Auswertung erfolgte mittels SPSS®. Abbildung 14 veranschaulicht den Ablauf der Untersuchung graphisch.

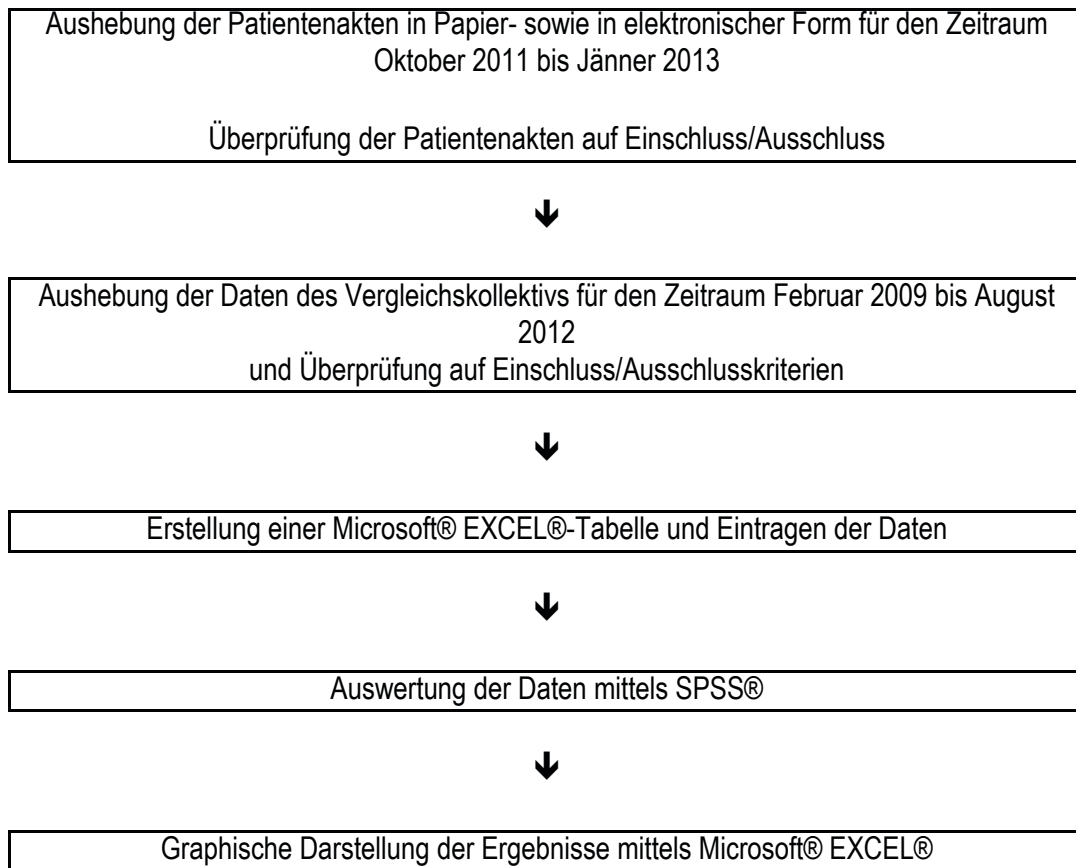


Abbildung 14. Grafische Darstellung des Studienablaufs.

2.3 Literatursuche

Die Literatursuche erfolgte in den Datenbanken PubMed, Cochrane Library sowie mittels der Suchmaschine Google Scholar über den offiziellen Zugang der Medizinischen Universität Graz. Darüber hinaus wurden aktuelle Lehrbücher, und Fachbücher verwendet.

3 Ergebnisse

3.1 Allgemeine Charakteristika

3.1.1 Alter, Geschlecht und BMI

Alter, Geschlecht und BMI der 54 VATS-lobektomierten Patienten und der 44 durch konventionelle Lobektomie operierten Patienten sind in Tabelle 6 angegeben. Bezüglich des Alters unterschieden sich beide Gruppen nicht (65,3 Jahre bei VATS und 65,4 Jahre bei offener Lobektomie), auch hinsichtlich der Verteilung der Geschlechter (VATS-Lobektomien: 55,6 % Männer; offen Operierte: 61,4 % Männer) und des mittleren BMI (VATS-Gruppe: 26.1 kg/m²; offene Lobektomien: 24.4kg/m²) bestanden ebenfalls keine signifikanten Unterschiede.

Charakteristika	Gesamt (n=98)	VATS (n=54)	Offen (n=44)
Alter (Jahre) mw	65,3 (± 10,2)	65,3 (± 10,2)	65,4 (± 10,4)
Geschlecht: männlich	57 (58,2 %)	30 (55,6 %)	27 (61,4 %)
Geschlecht: weiblich	41 (41,8 %)	24 (44,4 %)	17 (38,6 %)
BMI (kg/m ²) mw	25,98	26,1	24,4

mw, Mittelwert; ±, Standardabweichung

Tabell 6. Allgemeine Patientencharakteristika.

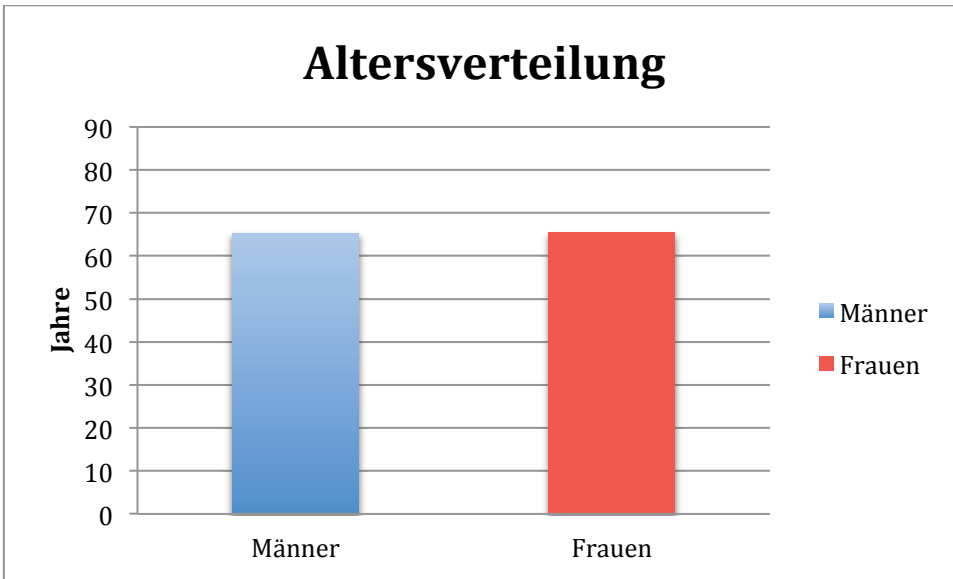


Abbildung 15. Altersverteilung zwischen den beiden Geschlechtern.

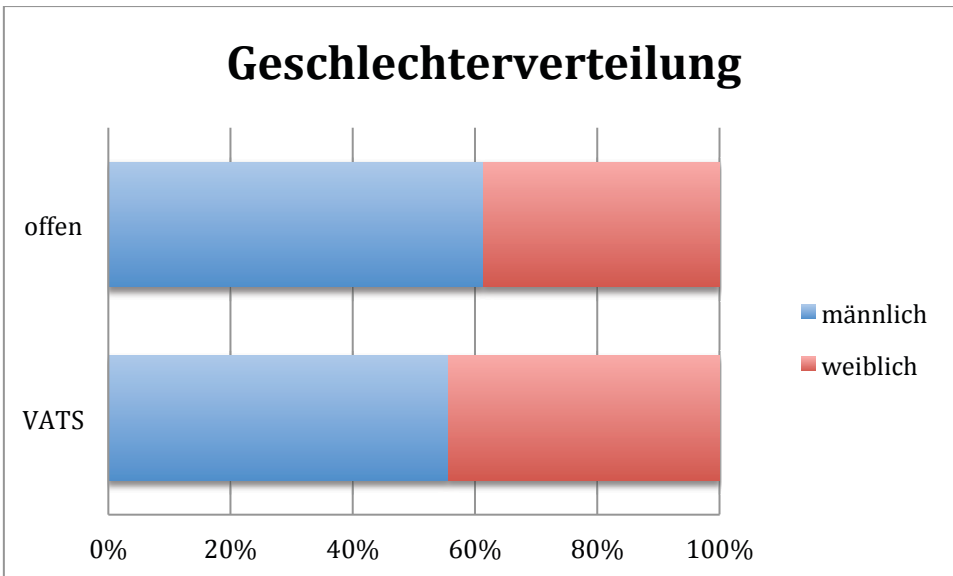


Abbildung 16. Verteilung der Geschlechter innerhalb der beiden Gruppen.

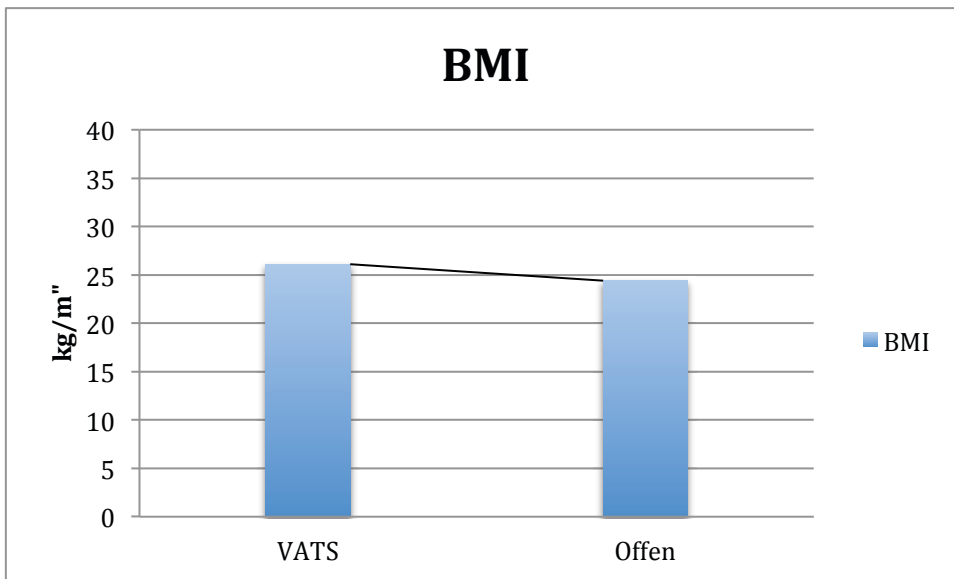


Abbildung 17. Darstellung des mittleren BMI der beiden Kollektive.

3.1.2 Lungenfunktion und Risikofaktoren

In Tabelle 7 sind die präoperative Lungenfunktion (ausgedrückt in FEV1 und VO₂max) und die Risikofaktoren Nikotinkonsum, COPD, KHK und PAVK aufgelistet.

Von den VATS-Patienten waren 26 (48,1%) Patienten Raucher, bei den offen operierten Patienten lag der Anteil der Raucher mit 25 (56,8%) höher. An COPD litten in der VATS-Gruppe 23 Patienten (42,6%), an KHK 9 (16,7%) und an PAVK 4 (7,4%). 18 (40,9%), 16 (36,4%) und 5 (11,4%) waren es in der Vergleichsgruppe. Die präoperativen Werte von FEV1 und VO₂max lagen bei VATS bei 2,44 (±0,77) und 20,22 (±4,32), vor offener Lobektomie bei 2,93 (±3,04) und 18,76 (±4,80). Alle Unterschiede waren nicht signifikant.

Risikofaktoren	Gesamt (n=98)	VATS (n=54)	Offen (n=44)
Nikotinanamnese	51 (52 %)	26 (48,1 %)	25 (56,8 %)
COPD	41 (41,8 %)	23 (42,6 %)	18 (40,9 %)
KHK	25 (24,5 %)	9 (16,7 %)	16 (36,4 %)
PAVK	9 (9,18 %)	4 (7,4 %)	5 (11,4 %)
Spirometrie (Durchschnitt % Soll)			
FEV1 kg/m ² mw	2,66 (± 2,12) (n=46)	2,44 (± 0,77) (n=30)	2,93 (± 3,04) (n=16)
VO ₂ max. (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	19,72 (± 4,49)	20,22 (± 4,32)	18,76 (± 4,80)

FEV1 forcierte Vitalkapazität der 1. Sekunde; VO₂max, maximale Sauerstoffaufnahme; mw, Mittelwert; ±, Standardabweichung

Tabelle 7. Spezifische Patientencharakteristika.

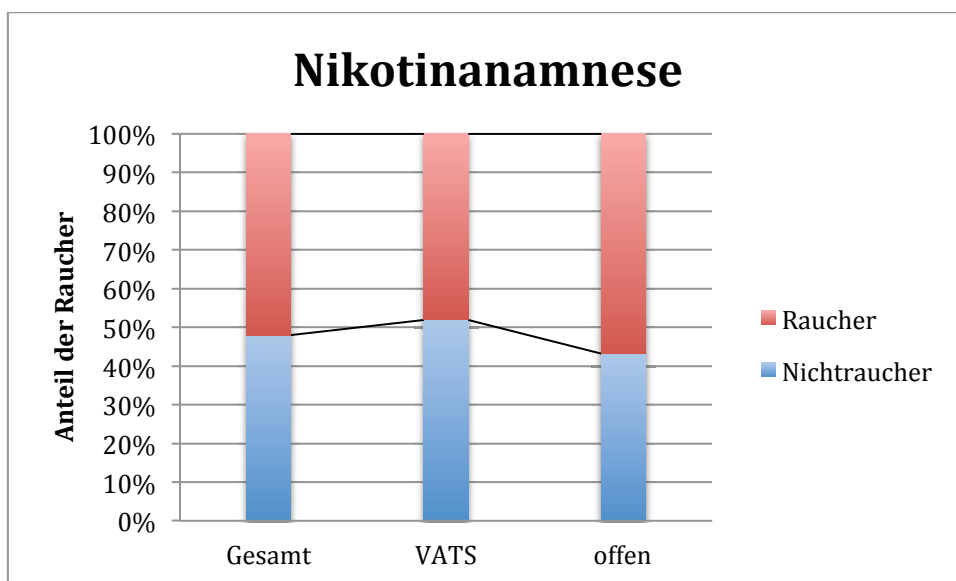


Abbildung 18. Anteil der Patienten mit positiver Nikotinanamnese.

Risikoverteilung VATS

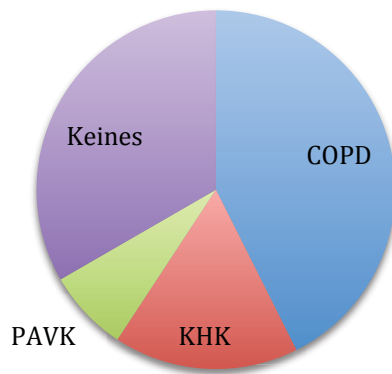


Abbildung 19. Risikofaktoren bei Patienten der VATS-Gruppe.

Risikoverteilung Offen

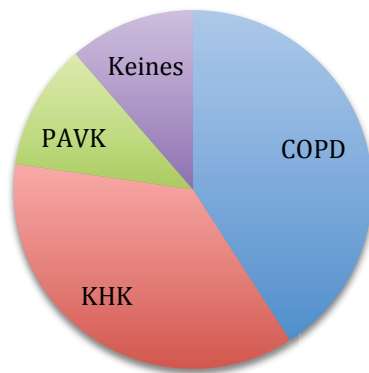


Abbildung 20. Risikofaktoren bei Patienten der Vergleichsgruppe.

3.2 Spezielle Charakterisika

3.2.1 Anatomische Verteilung der Lappen

Tabelle 8 zeigt eine Prädominanz des rechten Unterlappens im Ausmaß von 29,6%. Selten per VATS lobektomiert wurde der rechte Mittellappen (1,9%). Per Thorakotomie wurde am häufigsten der rechte Oberlappen entfernt. Der Anteil betrug 43,2%. Generell am seltensten operierte man am rechten Mittellappen.

Lokalisation	gesamt (n=98)	VATS (n=54)	Offen (n=44)
Rechter Oberlappen	31 (31,6 %)	12 (22,2 %)	19 (43,2 %)
Rechter Mittellappen	4 (4,1 %)	1 (1,9 %)	3 (6,9 %)
Rechter Unterlappen	25 (25,5 %)	16 (29,6 %)	9 (20,6 %)
Linker Oberlappen	20 (20,4 %)	14 (25,9 %)	6 (13,6 %)
Linker Unterlappen	18 (18,4 %)	11 (20,4 %)	7 (15,9 %)

Tabelle 8. Anatomische Verteilung der durchgeführten Lobektomien.

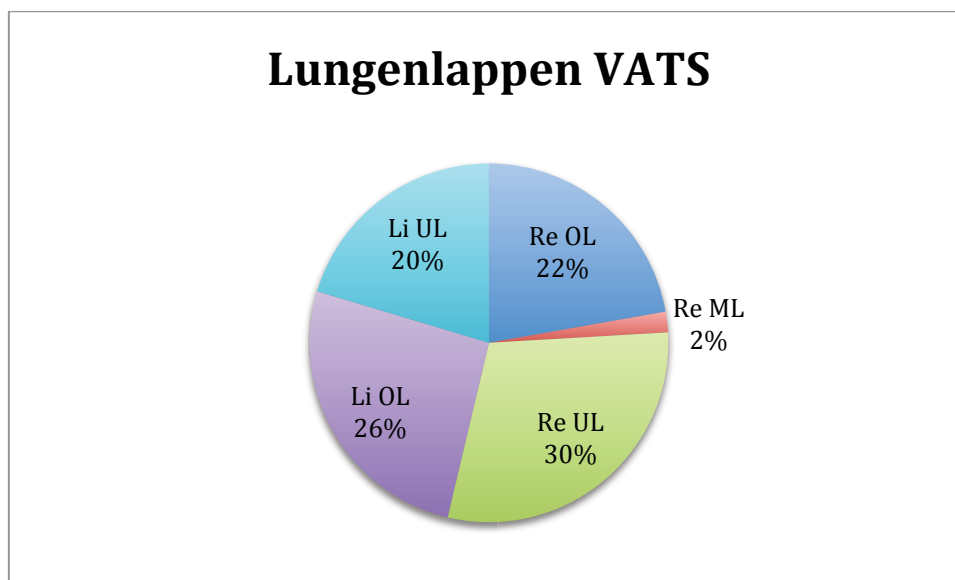


Abbildung 21. Verteilung der resezierten Lappen bei VATS-Lobektomie.

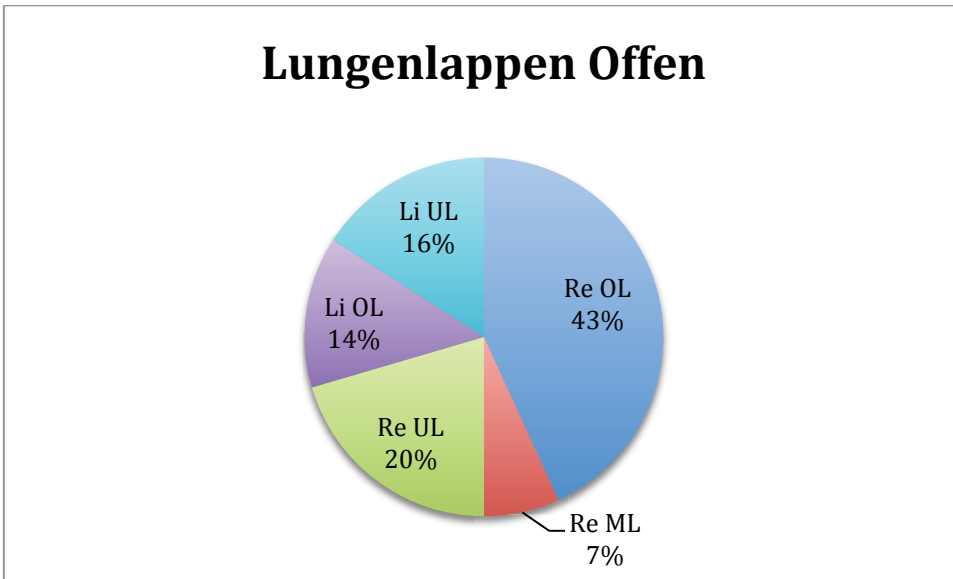


Abbildung 22. Verteilung der resezierten Lappen bei offener Lobektomie.

3.2.2 Histopathologische Diagnose

Der häufigste Grund für eine VATS-Lobektomie war ein Lungenkarzinom. (n=41), in einigen Fällen (n=5) handelte es sich um ein typisches Karzinoid, in 4 Fällen um einen Lungenabszess und bei 4 Patienten war der Grund für die Lobektomie ein in die Lunge metastasiertes Karzinom anderer Organe (Kolon, Pharynx, Niere) (siehe Tabelle 9).

Diagnose	VATS (n=54)
Lungenkarzinom	41
Karzinoid	5
Entzündung/Lungenabszess	4
Metastase Fremdtumor	4

Tabelle 9. Diagnose der VATS-Lobektomien.

3.2.3 pTNM-Stadium

Charakteristika zur pathologischen TNM-Klassifikation (Tumorgröße, Lymphknoten, Metastasen, Resektionsrand) sowie eine Einteilung in periphere und zentrale Tumorlokalisation und maximale Tumorgröße sind in Tabelle 10 aufgelistet.

Das häufigste T-Stadium war bei den VATS-Lobektomien T1a (44,4%), vor T1b (25,9%) und T2a (24,1%). Bei den offen operierten Lobektomien war es T1a (61,4%) und T1b (26,4%). Der mittlere maximale Tumordurchmesser betrug 2,61 cm ($\pm 2,56$) bei VATS- und 2,01 cm ($\pm 0,84$) bei offener Lobektomie. Bei 10 (18,5%) der VATS- und 11 (25%) der offenen Lobektomien waren die Lymphknoten bereits infiltriert. Bei den VATS-Lobektomien fanden sich bei einem Patienten (1,9%), bei den offenen Lobektomien bei 3 Patienten (6,8%) unerwartet ein M1-Stadium. Der Resektionsrand war bei allen Patienten tumorfrei.

Der überwiegende Teil, nämlich 50 (92,6%) der Tumoren bei den VATS-Lobektomien war peripher lokalisiert. Ein ähnlich hoher Anteil war es bei den offenen Lobektomien, hier fanden sich 34 (77,3%) in peripherer Lage.

	Gesamt (n=98)	VATS (n=54)	Offen (n=44)
T1a	51 (52,0 %)	24 (44,4 %)	27 (61,4 %)
T1b	30 (30,6 %)	14 (25,9 %)	16 (36,4 %)
T2a	14 (14,3 %)	13 (24,1 %)	1 (2,3 %)
T2b	1 (1,0 %)	1 (1,9 %)	0 (0 %)
T3	2 (2,0 %)	2 (3,7 %)	0 (0 %)
N	21 (21,4 %)	10 (18,5 %)	11 (25 %)
M	4 (4,1 %)	1 (1,9 %)	3 (6,8 %)
Tumordurchmesser (cm) mw	2,35 ($\pm 2,01$)	2,61 ($\pm 2,56$)	2,01 ($\pm 0,84$)
Periphere Lage	88 (89,8 %)	50 (92,6 %)	34 (77,3 %)

T, Tumorgröße; N, Lymphknotenmetastasen; M, Metastasen; mw, Mittelwert; \pm , Standardabweichung

Tabelle 10. Pathologisches TNM-Stadium, Tumorgröße und Lokalisation.

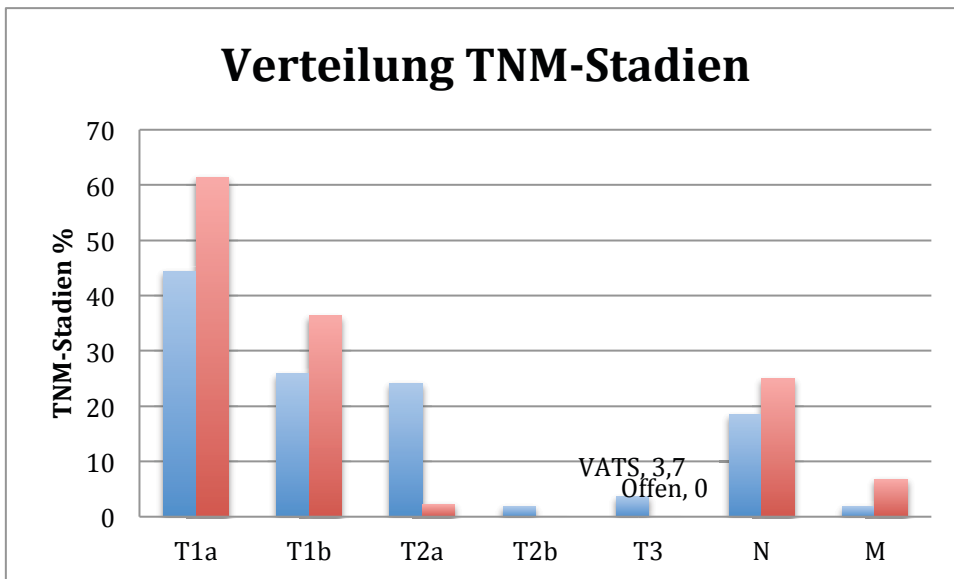


Abbildung 23. Verteilung der TNM-Stadien im Vergleich.

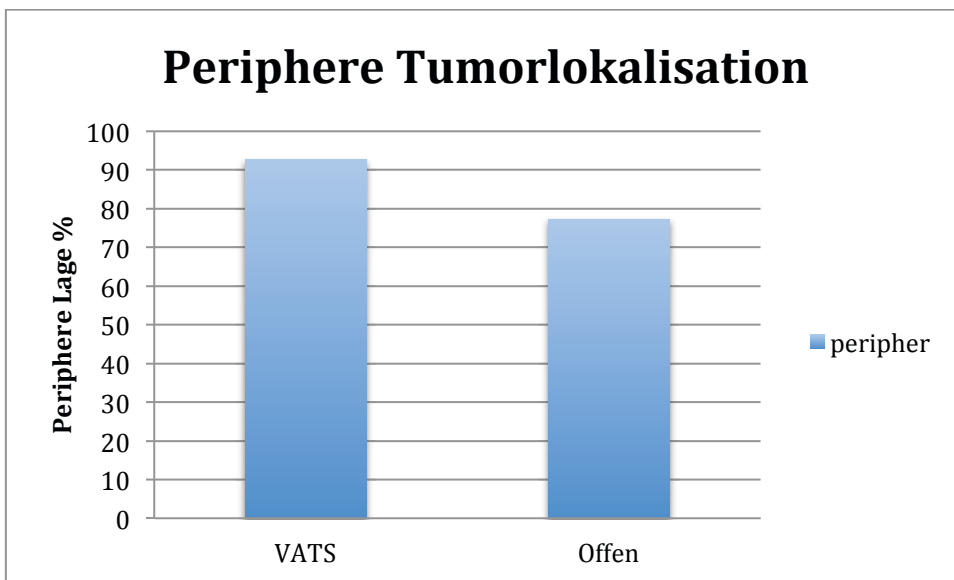


Abbildung 24. Anteil der peripher gelegenen Tumoren im Vergleich.

3.3 Chirurgisches Outcome

3.3.1 Operationsdauer und Konversionsrate

Tabelle 11 zeigt die Operationsdauer bei VATS- und offener Lobektomie, die Operationsdauer wenn konvertiert wurde sowie einen Vergleich der Operationsdauer zwischen den beiden Operateuren. Des Weiteren zeigt sie die Gesamtkonversionsrate und ebenso einen Vergleich der beiden Operateure.

Die mittlere Operationsdauer betrug bei VATS-Lobektomie 130,8 min. ($\pm 43,5$), bei offener Lobektomie 111,4 min. ($\pm 37,3$). Wenn konvertiert werden musste dauerte die Operation im Mittel 160 min. ($\pm 35,2$). Operateur 1 benötigte im Mittel 122,3 min. ($\pm 8,7$) für eine erfolgreiche VATS-Lobektomie, Operateur 2 hingegen war mit 170,9 min. ($\pm 32,3$) deutlich langsamer. Die gesamt Konversionsrate betrug 31,8% (n=14). Operateur 1 hatte eine Konversionsrate von 10% (n=3), bei Operateur 2 betrug diese 45,8% (n=11). Die offene Lobektomie wenn mittels VATS begonnen wurde und konvertiert werden musste dauerte bei Operateur 1 im Mittel 122,3 min. ($\pm 8,7$), Operateur 2 benötigte hingegen 170,9 min. ($\pm 32,3$).

	VATS	Offen
	(n=54)	(n=44)
Op-Dauer (min) mw	130,8 ($\pm 43,5$)	111,4 ($\pm 37,3$)
Op-Dauer Operateur 1 (min) mw	100,4 ($\pm 24,9$)	NV
Op- Dauer Operateur 2 (min) mw	168,7 ($\pm 29,4$)	NV
VATS erfolgreich (min) mw	120,4 ($\pm 41,5$)	NV
VATS erfolgreich Operateur 1 (min) mw	98,0 ($\pm 24,9$)	NV
VATS erfolgreich Operateur 2 (min) mw	166,9 ($\pm 28,0$)	NV
Konversionen gesamt	14 ($\pm 31,8$ %)	NV
Konversionen Operateur 1	3 (10 %)	NV
Konversionen Operateur 2	11 (45,8 %)	NV
Op-Dauer bei Konversion (min) mw	160,5 ($\pm 35,2$)	NV
Op-Dauer bei Konversion Operateur (min) mw	122,3 ($\pm 8,7$)	NV
Op-Dauer bei Konversion Operateur 2 (min) mw	170,9 ($\pm 32,3$)	NV

VATS erfolgreich, VATS-Lobektomien ohne Konversionen; mw, Mittelwert; \pm , Standardabweichung

Tabelle 11. Chirurgisches Outcome: Operationsdauer und Konversionsraten.

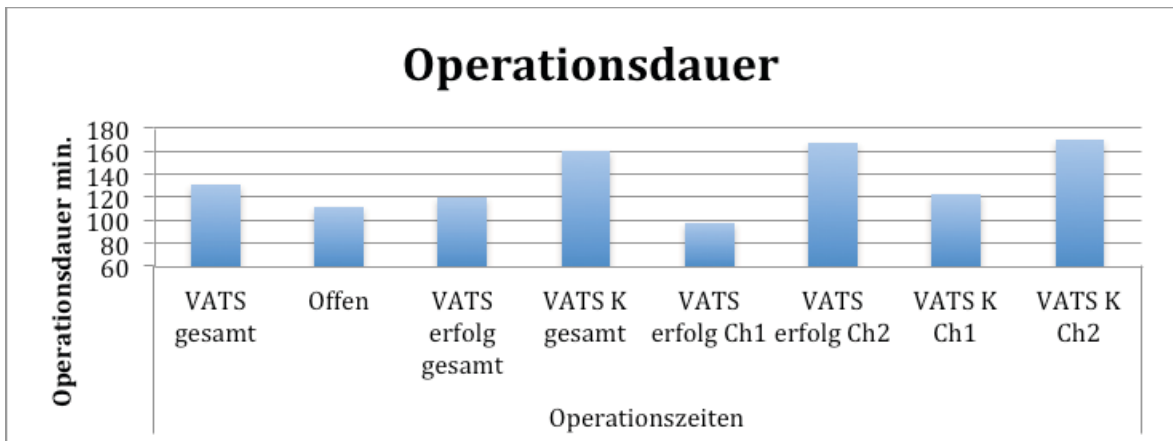


Abbildung 25. Vergleich sämtlicher Operationszeiten.

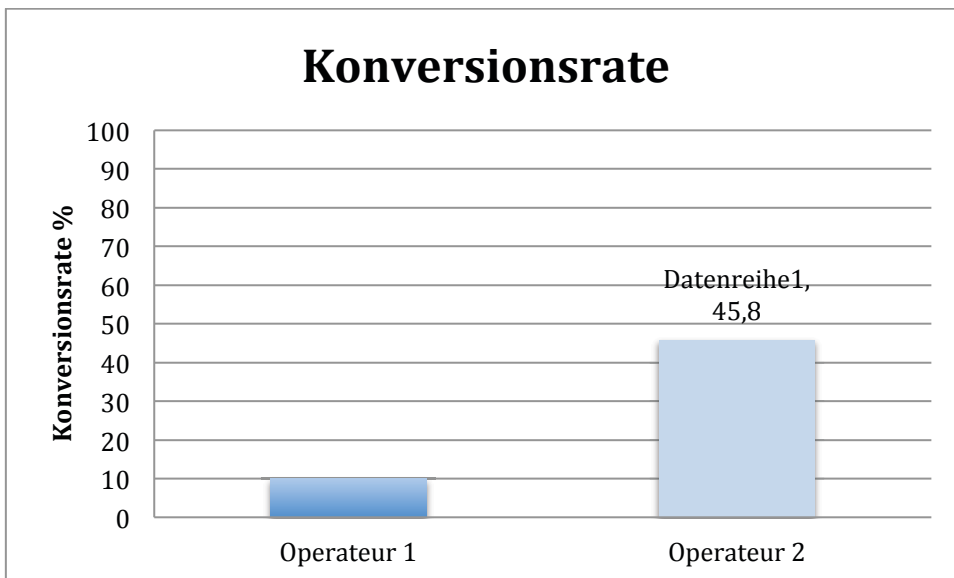


Abbildung 26. Vergleich der Konversionsrate zwischen Operateur 1 und Operateur 2.

3.3.2 Konversionen

Die Gründe für die jeweiligen Konversionen sind einzeln in Tabelle A7 und A8 aufgelistet. Die häufigsten Konversionsgründe waren mit Abstand eine Blutung (n=6; 42,6%) vor Verwachsungen (n=3; 21,4%). Jeweils einmal (7,1%) waren Platzmangel, ungenügende Sichtverhältnisse, eine zentrale Tumorposition, eine vulnerable, zerreiliche Lunge bzw. beatmungstechnische Probleme die Ursache für Konversion.

Das häufigste T-Stadium war bei den Konversionen mit Abstand T1a (n=8; 57,1%). Des Weiteren mussten zwei Mal T1b (14,3%), drei Mal T2a (21,4%) und einmal T3 (7,1%) konvertiert werden. Bezüglich der Lappen musste bei rechter Oberlappen-Ektomie am häufigsten konvertiert werden (n=5; 35,7%). Die mittlere stationäre Aufenthaltsdauer bei Konversion betrug 14,2 Tage ($\pm 11,6$), die mittlere Liegedauer der Thoraxsaugdrainage im Mittel 10 Tage ($\pm 9,4$).

Nummer	Datum	Grund	T-Stadium	Lappen	Op-Dauer (min.)	Reoperation	Aufenthalt (d)
1	17.02.2011	Einreißen einer Lingulavene	1a	li OL	115	nein	8
2	25.10.2011	Verwachsungen (Pleurasczwarte)	1a	re OL	120	ja	50
3	16.01.2012	Blutung (A. pulmonalis, Hauptstamm)	1a	li OL	132	nein	5

re, rechts; li, links; OL, Oberlappen, ML, Mittellappen; UL, Unterlappen

Tabelle 12. Konversionen Operateur 1 (n=3).

Datum	Grund	T-Stadium	Lappen	Op-Dauer (min.)	Reoperation	Aufenthalt (d)
17.11.2011	Platzmangel (Anat., Emphysem, Herz)	1a	li OL	215	nein	20
21.11.2011	Blutung (Segmentarterie)	2a	li UL	186	ja	12
19.12.2011	Blutung (Truncus ant.)	1a	re OL	198	nein	10
10.01.2012	Insuffiziente Sichtverhältnisse	1a	re ML	153	nein	15
31.01.2012	Blutung (A. pulmonalis)	1a	re OL	170	nein	4
13.02.2012	Verwachsungen, Emphysem	1b	li UL	146	ja	22
24.05.2012	Verwachsungen	2a	re OL	210	nein	7
02.08.2012	Zentrale Tumorposition	1b	re OL	177	nein	8
26.09.2012	Blutung	2a	li UL	102	nein	15
30.11.2012	UL infiltriert, vulnerable Lunge	3	re UL	155	nein	13
17.01.2013	Beatmungstechnische Probleme	1a	re UL	168	nein	10

Tabelle 13. Konversionen Operateur 2 (n=11).

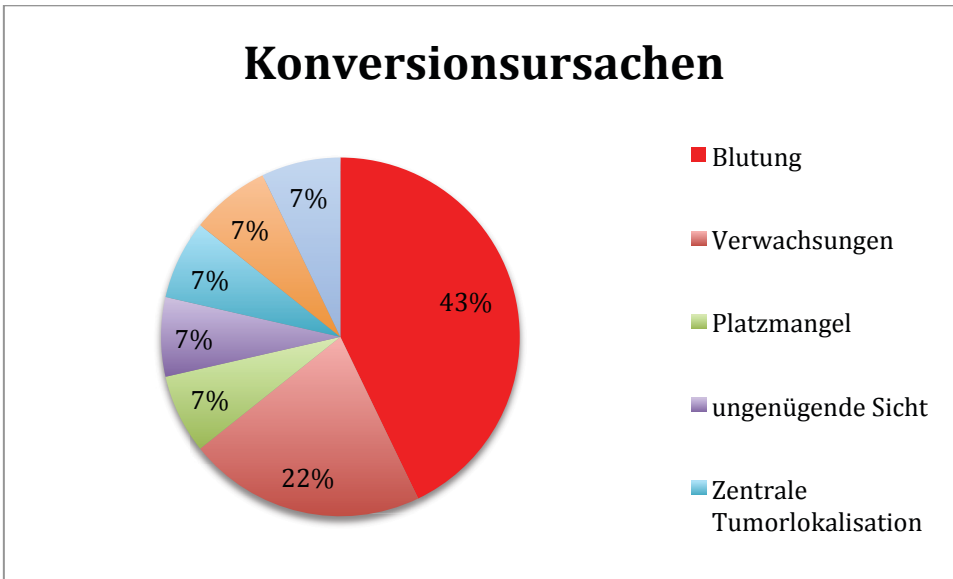


Abbildung 27. Ursachen für Konversion.

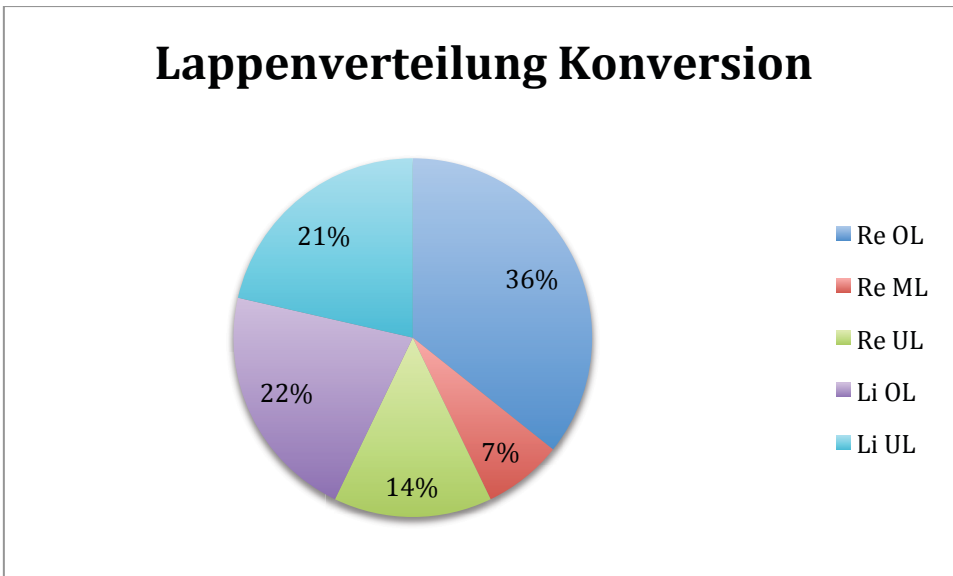


Abbildung 28. Verteilung der Lappen bei Konversion.

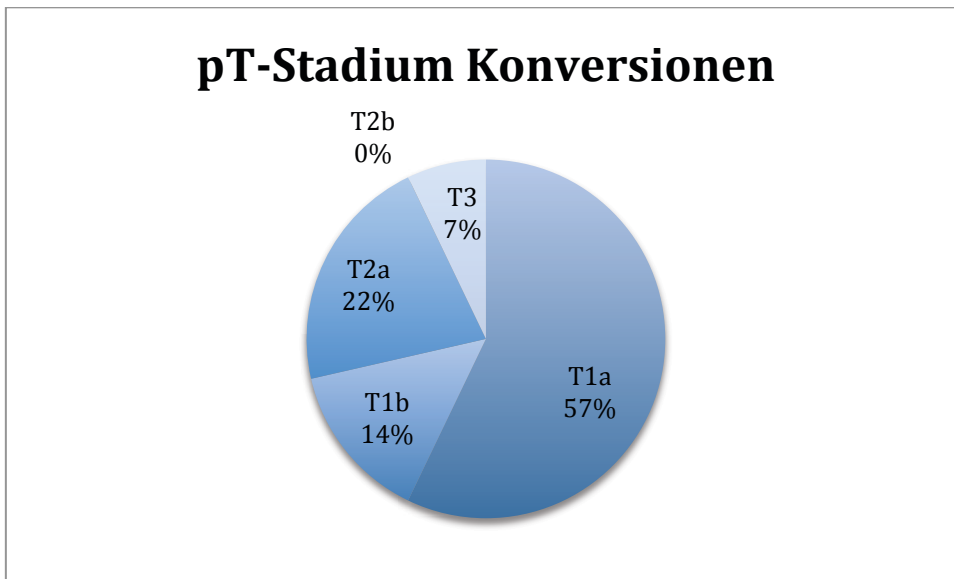


Abbildung 28. Prozentuale Verteilung des pT-Stadiums der Konversionen.

3.4 Postoperatives Outcome

3.4.1 Komplikationen und Reoperationen

Zu Komplikationen kam es bei VATS-Lobektomie in 7 Fällen (13%), bei offener Lobektomie waren es 5 (11,4%). Es verstarb intraoperativ kein Patient, postoperativ kam es nach VATS-Lobektomien zu einem Todesfall (postoperative Mortalität 1,9%). Ein verlängertes Airleak im Sinne einer Luftfistel lag bei VATS-Lobektomie in 4 (7,4%), bei offener Lobektomie in 2 Fällen (4,5%) vor. Ein Weichteilemphysem trat bei gut der Hälfte aller Patienten nach VATS-Lobektomie auf (51,9%; n=28), nach offener Lobektomie waren es 22,7% (n=10). Ein Pleuraempyem trat weder nach VATS- noch bei offener Lobektomie als Komplikation auf.

Eine Reoperation war nach VATS-Lobektomie bei 4 Patienten (13%) nötig, nach offener Lobektomie waren es 3 (6,8%). Die Reoperation erfolgte zu je einem Mal aufgrund einer Nachblutung (14,3% bzw. 33,3%), in den übrigen Fällen infolge von prolongierter Luftfistel.

Komplikation	VATS (n= 54)	Offen (n=44)
Mors in Tabula	0 (0 %)	0 (0 %)
Postoperative Mortalität <30 Tage	1 (1,9 %)	0 (0 %)
Patienten mit Komplikationen	7 (13 %)	5 (11,4 %)
Verlängertes Airleak >7 Tage (Luftfistel)	4 (7,4 %)	2 (4,5 %)
Weichteilemphysem	28 (51,9 %)	10 (22,7 %)
Pleuraempyem	0 (0 %)	0 (0 %)
Reoperation	7 (13 %)	3 (6,8 %)
Reoperation aufgrund einer Nachblutung	1 (14,3 %)	1 (33,3 %)
Patienten in externer Nachbehandlung	4 (7,4 %)	12 (27 %)
Liegedauer der Thoraxsaugdrainage (d), mw	7,4 (± 6,1)	10,0 (± 6,5)
Hospitalisierungsdauer (d), mw	10,4 (± 7,7)	14,4 (± 9,3)

mw, Mittelwert; ±, Standardabweichung

Tabelle 14. Poatoperative Ergebnisse.

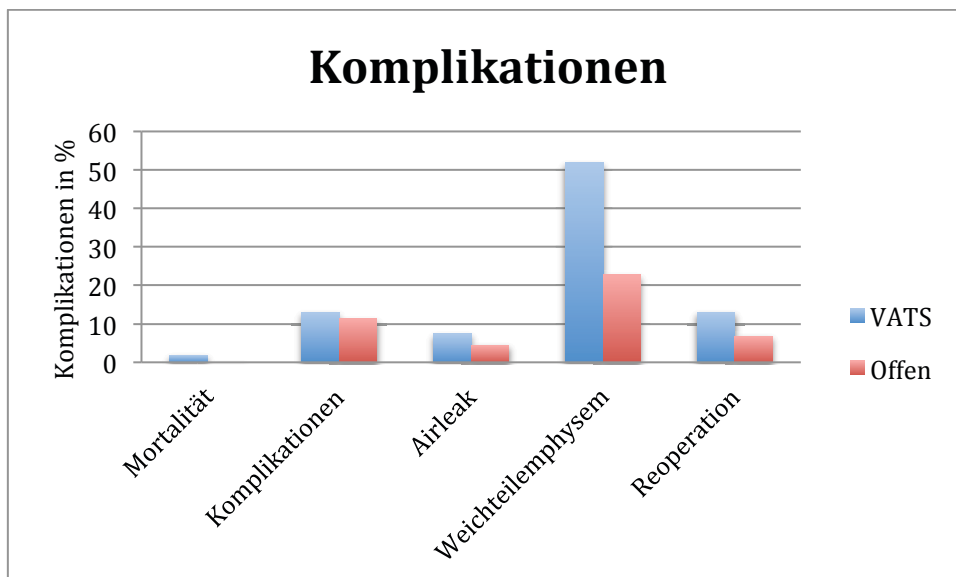


Abbildung 29. Prozentualer Anteil der Komplikationen im Vergleich.

3.4.2 Schmerzen postoperativ

Die Dauer der parenteralen Schmerztherapie war nach VATS-Lobektomie signifikant verkürzt und betrug im Mittel 5,72 ($\pm 3,36$), bei offener Operation dagegen 7,63 ($\pm 4,52$). Der postoperative Verlauf der Schmerzmessung ist in Tabelle 15 dargestellt. Am ersten Tag der subjektiven Beurteilung durch die Patienten waren die NRS-Werte sowohl in Ruhe als auch bei Belastung nach VATS minimal höher (2,81 zu 2,52 und 3,95 zu 3,70). Die größte Differenz in Ruhe betrug 0,89, 0,91 und 1,01 (Tage 4, 6, und 7). Bei Belastung waren die Unterschiede am 5. und 7. Tag am größten (1,39 bzw. 1,22). Wie in Abbildung 31 dargestellt fielen nach VATS-Lobektomie die Werte im Verlauf, mit Ausnahme des 6. Postoperativen Tages, an diesem stiegen die Werte sogar minimal an.

	VATS Ruhe		VATS Belastung		Offen Ruhe		Offen Belastung	
Tag 1 mw	2,81	$\pm 2,03$	3,95	$\pm 2,27$	2,52	$\pm 2,27$	3,7	$\pm 2,45$
Tag 2 mw	2,58	$\pm 1,89$	3,87	$\pm 2,17$	2,54	$\pm 1,83$	3,81	$\pm 1,92$
Tag 3 mw	1,98	$\pm 1,75$	3,12	$\pm 2,06$	2,4	$\pm 1,90$	3,81	$\pm 1,95$
Tag 4 mw	1,46	$\pm 1,62$	2,9	$\pm 3,18$	2,35	$\pm 1,69$	3,5	$\pm 1,35$
Tag 5 mw	1,45	$\pm 1,65$	2,4	$\pm 1,65$	2,36	$\pm 1,81$	3,79	$\pm 1,99$
Tag 6 mw	1,77	$\pm 1,66$	2,57	$\pm 1,80$	2,21	$\pm 1,76$	3,33	$\pm 1,86$
Tag 7 mw	1,22	$\pm 1,66$	1,93	$\pm 1,87$	2,23	$\pm 1,63$	3,15	$\pm 1,87$
Parenteral (d)	VATS		Offen					
	5,72	$\pm 3,36$	7,62	$\pm 4,52$				

NRS, Nuremic Rating Scale; mw, Mittelwert; \pm , Standardabweichung.

Tabelle 15. Postoperative Schmerzerfassung mittels NRS.
Dauer der parenteralen Schmerztherapie postoperativ.

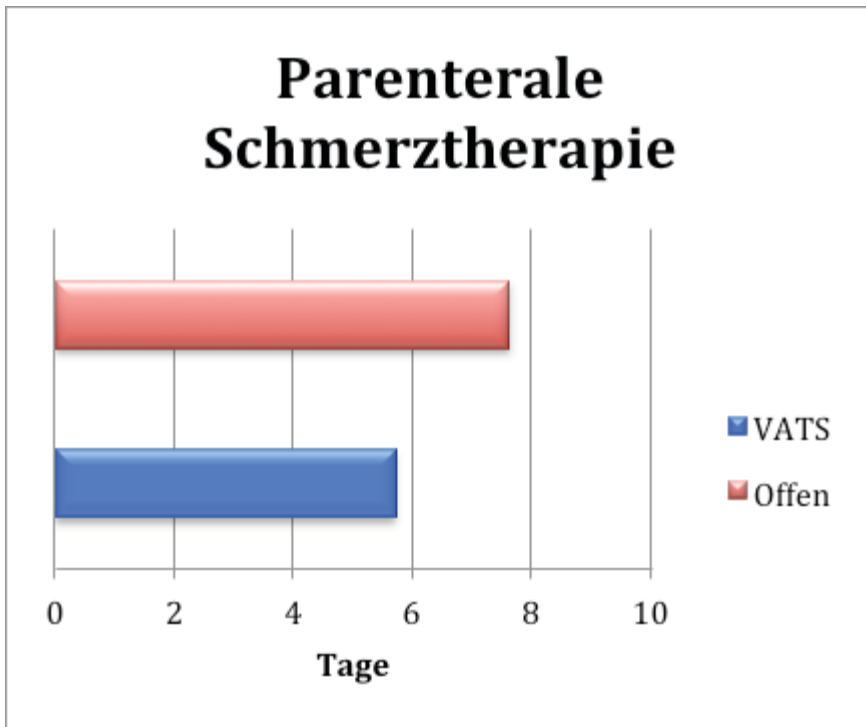


Abbildung 30. Dauer der parenteralen Schmerzmittelgabe postoperativ.

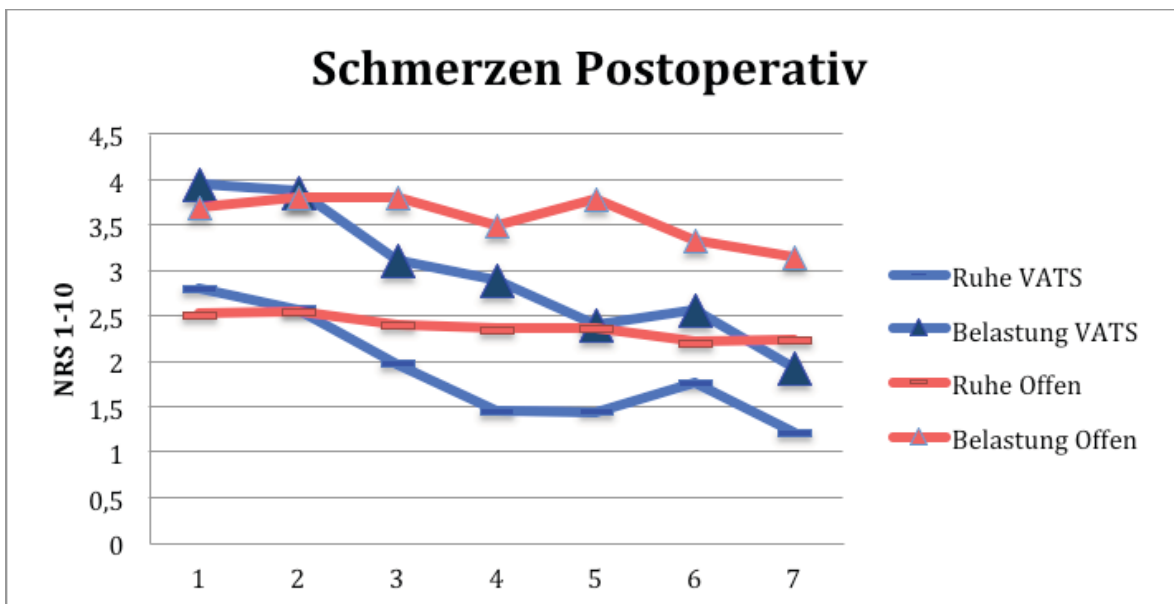


Abbildung 31. Darstellung der postoperativen Schmerzen in Ruhe und bei Bewegung gemessen mit der NRS.

3.4.3 Stationärer Aufenthalt

Die Liegedauer der Thoraxsaugdrainage betrug bei VATS-Lobektomie im Mittel 7,4 Tage ($\pm 6,1$), bei offener Lobektomie 10 Tage ($\pm 6,1$). Die mittlere Dauer des stationären Aufenthalts betrug 10,4 Tage ($\pm 7,7$) bei VATS- und 14,4 ($\pm 9,3$) bei offener Lobektomie (siehe Tabelle 14).

7,4% (n=4) der Patienten nach VATS- Lobektomie und 27% (n=12) aller offen operierten Patienten wurden im Anschluss an den chirurgisch-stationären Aufenthalt in eine externe, auf Lungenkrankheiten spezialisierte Gesundheitseinrichtung zur Nachbehandlung transferiert.

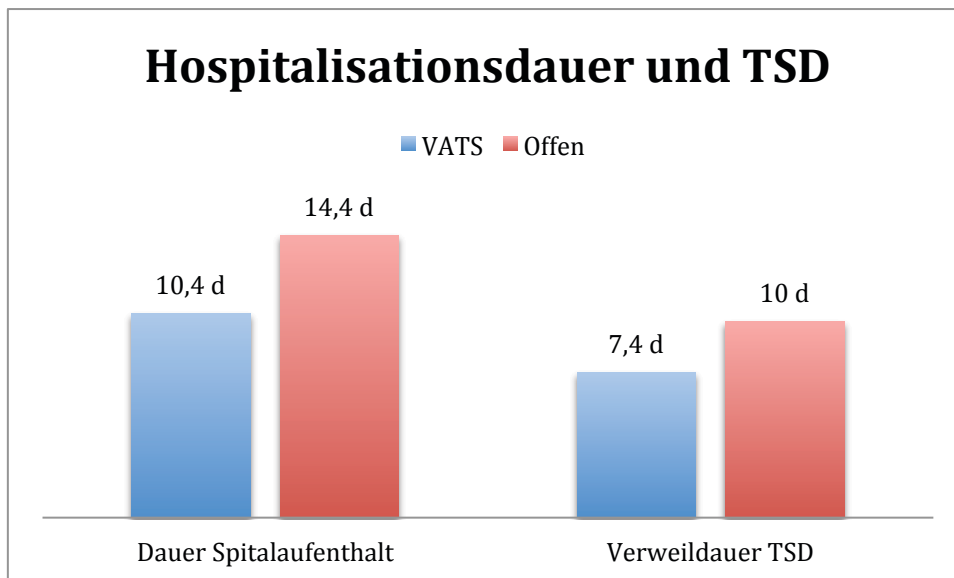


Abbildung 32. Dauer des chirurgischen Krankenhausaufenthalts und Liegedauer der Thoraxsaugdrainage.

3.5 Lernkurve

Die Operationsdauer nahm insgesamt mit zunehmender Erfahrung der beiden Operateure statistisch hochsignifikant ab ($p = 0,008$) – d.h. sie wurden schneller. An der Grenze zur Signifikanz war die Häufigkeit einer Re-Operation – diese wurde mit zunehmender Erfahrung seltener ($p = 0,036$).

Operateur 1 erreichte nur eine marginale Verkürzung der Operationszeit mit zunehmender Anzahl der Operationen ($p = 0,068$). Ebenso verringerte sich die Konversionsrate bei ihm statistisch nur marginal ($p = 0,066$). Bei allen übrigen Parametern bestand kein Zusammenhang mit der Lernkurve.

Operateur 2 konnte mit zunehmender Anzahl an durchgeführten VATS-Lobektomien eine statistisch signifikante Verringerung der Operationszeit erreichen ($p = 0,020$) d.h. er wurde immer schneller. Bei allen übrigen Parametern bestand bei ihm ebenso kein Zusammenhang mit der Lernkurve.

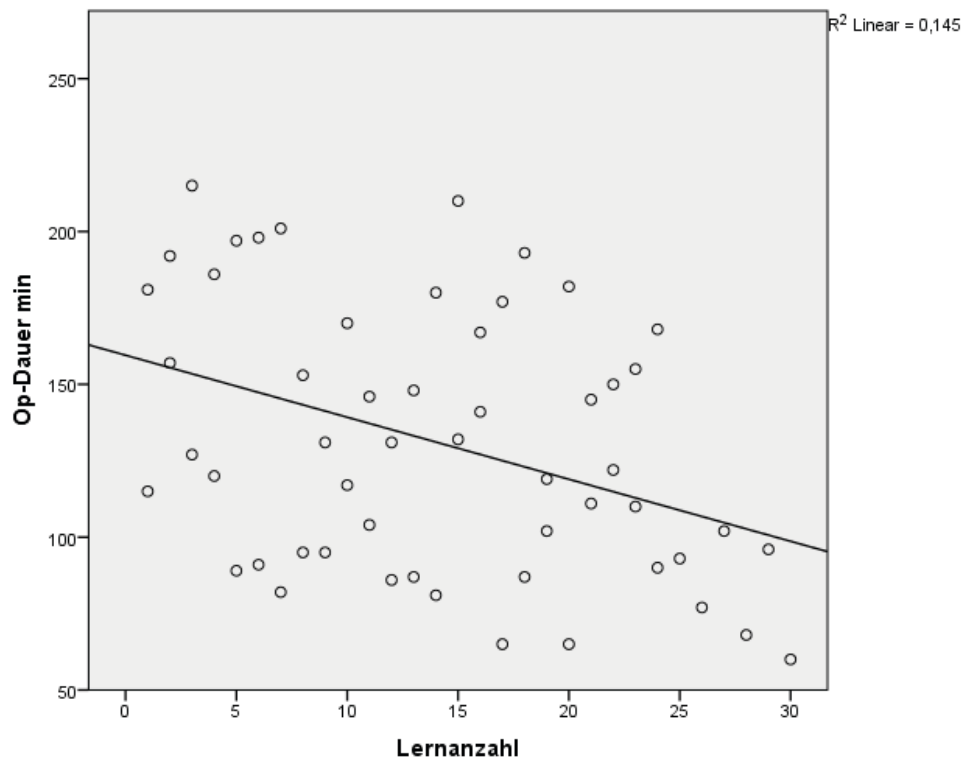


Abbildung 33. Darstellung der signifikanten Regressionslinie mit zunehmender Anzahl der Operationen.

4 Diskussion

Die VATS-Lobektomie gilt nach wie vor als technisch anspruchsvolle Operation und wurde bis vor einiger Zeit ausschließlich in auf minimalinvasive Eingriffe spezialisierten Zentren bei Patienten mit Frühstadien eines Bronchuskarzinoms eingesetzt.

Heute ist sie ein sich verbreitendes Verfahren und wird zunehmend als Standardeingriff in der thoraxchirurgischen Therapie des nichtkleinzelligen Bronchialkarzinoms betrachtet. Zudem ist sie aufgrund der durchwegs guten Resultate heutzutage nicht mehr nur auf Tumoren im Frühstadium beschränkt ist, sondern wird auch bei Stadium II und III des NSCLC sowie bei weiteren Erkrankungen wie Lungenmetastasen oder granulomatösen Erkrankungen angewandt. (35) Dieses Indikationsspektrum konnten wir auch in unserer Studie darstellen. Die weitaus häufigste Indikation für eine VATS-Lobektomie war ein Lungenkarzinom, es wurden jedoch auch in jeweils gleichem Anteil Carzinoide, Lungenabszesse und Lungenmetastasen mittels VATS operiert

In der Literatur sind die Vorteile der VATS-Lobektomie gegenüber offenen Verfahren zahlreich belegt. Postoperativ kommt es zu deutlich weniger Schmerzen, einer kürzeren Verweildauer der Thoraxsaugdrainage und zu einem kürzeren Spitalsaufenthalt, verbesserter Schulterfunktion, geringeren Einbußen der postoperativen Lungenfunktion sowie einer geringeren Entzündungsreaktion (36) und geringeren Komplikationsrate als bei offener Resektion. (37)

Diese Vorteile spiegeln sich auch in unserer Studie wider. Bei unserer Untersuchung waren im Vergleich zur offenen Resektion die Liegedauer der Thoraxsaugdrainage (VATS 7,4d \pm 6,1 vgl. offen 10d \pm 6,5) und der Spitalsaufenthalt signifikant kürzer (VATS 10,4d \pm 7,7 vgl. offen 14,4d \pm 9,2). Parenterale Analgetika konnten im Mittel 2 Tage früher abgesetzt werden (VATS 5,7d \pm 3,4 vgl. offen 7,6d \pm 4,5) (siehe Abbildung 30). Darüber hinaus gaben die Patienten nach VATS-Lobektomie während der ersten 7 postoperativen Tage sowohl in Ruhe als auch bei Belastung weniger Schmerzen an als Patienten, die offen reseziert worden waren (siehe Abbildung 31).

Zudem ist die VATS-Lobektomie bei richtiger Indikationsstellung und korrekter Ausführung onkologisch gleichwertig wie die offene Resektion anzusehen. Es konnte in

Langzeitstudien gezeigt werden, dass sich sowohl die 5-Jahres-Gesamtüberlebensrate als auch das krankheitsfreie 5-Jahres-Überleben von offen- bzw. VATS-lobektomierten Patienten nicht signifikant unterschied. (38) Es kam bei beiden Gruppen zu keinem Todesfall intraoperativ. Die perioperative Sterblichkeit betrug nach VATS 1,9% (1 Fall, Pleuraempyem) und liegt damit im Durchschnitt der großen Studien (siehe Tabelle 16). Signifikant vermehrt aufgetreten ist nach VATS-Lobektomie jedoch ein Weichteilemphysem. Für den klinischen Verlauf hatte dieser Umstand jedoch keine Auswirkungen und war daher nicht relevant. Der im Vergleich zu offenen Resektionen doppelt so hohe Anteil an Reoperationen (13%) nach VATS-Lobektomien war im Großteil der Fälle durch persistierende Luftfisteln bedingt, nur in einem Fall (14%) war eine Nachblutung die Ursache.

Bezüglich der entfernten Lappen gab es keine Präferenzen, bis auf den rechten Mittellappen herrschte eine relativ gleichmäßige Verteilung vor, anders als bei offener Lobektomie, in der die Entfernung des rechten Lungenlappens anteilig am häufigsten (43%) durchgeführt wurde.

Dass in der Vergleichsgruppe häufiger ein T1a Stadium (61% offen vgl. 44% VATS) vorlag und auch der mittlere Tumordurchmesser (2 cm) über einem halben cm kleiner war als bei VATS-Lobektomie (2,6 cm) lag daran, dass das Vergleichskollektiv auf frühe Tumorstadien beschränkt worden war. Auch wenn sich die beiden Gruppen bezüglich des Vorliegens einer Lymphknoteninfiltration (18,5% bei VATS, 25% offen), einer Metastasierung (1,9% VATS, 6,8% offen) und des Anteils peripher lokalisierter Tumoren (93% VATS, 77% offen) unterschieden, sind die beiden Patientenkollektive dennoch gut miteinander vergleichbar.

Die Operationszeit bei VATS-Lobektomie war in unserer Studie gegenüber der offenen Operation deutlich länger (131 min. \pm 44 VATS vgl. 111 min. \pm 37 offen). Das ist durchaus plausibel durch die mangelnde Routine am Beginn der Lernkurve erklärbar. Bei erfolgreich durchgeführter VATS-Lobektomie näherte sich die dazu benötigte Zeit (120 min. \pm 42) an die der offenen Methode an. Allerdings hat eine längere Operationszeit bei annähernd gleicher Komplikationsrate abgesehen von der längeren Narkosedauer keine negativen Auswirkungen auf die Patienten. Aus ökonomischem Blickwinkel betrachtet ist dagegen eine längere Operationszeit ungünstig was die OP-Kapazitäten angeht. Bei, wie wir darstellen konnten, längerer Erfahrung mit der neuen Technik ist es möglich,

VATS- bzw. offene Lobektomien in beinahe gleicher Zeitdauer durchzuführen, was sich unter dem ökonomischen Aspekt der kürzeren Verweildauer nach VATS-Lobektomie sogar positiv auswirken könnte.

Die Konversionsrate lag mit 31,8% hoch, verglichen mit anderen Studien. Im Falle der Konversion wird üblicherweise der anterolaterale Zugang gewählt. Von den insgesamt 14 durchgeführten Konversionen fielen allein 11 (46%) auf Operateur 2 (vgl. 3; 10%) Operateur 1. Der Grund für die signifikant niedrigere Konversionsrate bei Operateur 1 liegt wohl an der Tatsache dass er der ältere, erfahrenere Chirurg der beiden ist und aus einem größeren Reichtum an Erfahrung sowohl in offener als auch in VATS-Chirurgie schöpfen konnte. Die Hauptursache für die hohe Konversionsrate lag darin dass man ein Höchstmaß an Sicherheit für den Patienten erreichen wollte, weshalb oft schon früh konvertiert wurde. Hinzu kommt, dass man mit steigender Erfahrung in der VATS-Lobektomietechnik auch versuchte größere und vereinzelt sogar zentral gelegene Tumoren thorakoskopisch zu operieren.

Insgesamt dauerten Operationen bei denen konvertiert werden musste klarerweise signifikant länger (160 min. \pm 35) im Vergleich zur primär offenen Lobektomie. Dass bei Konversion die Operationszeit jedoch nicht unbedingt relevant verlängern muss, zeigt das Ergebnis von Operateur 1 (122 min. \pm 9).

Ursachen für Konversionen können grob in 2 Kategorien unterteilt werden: notfallmäßig aufgrund von Gefäßverletzungen oder elektiv aufgrund technisch schwieriger Präparation. Eine Blutung stellte in unserer Studie die Hauptursache für eine Konversion dar. Bis diese -wenn nötig über einen offenen Zugang- gestillt werden kann, gelingt es üblicherweise die Blutung mit vorbereiteten und bereitgelegten Stieltupfern zu kontrollieren. (39)

In der Studie von *Samson et al.* (40) hatten Patienten bei denen konvertiert werden mussten eine signifikant höhere 30-Tages Mortalität, häufiger kardiale Arrhythmien, mehr intraoperativen Blutverlust und eine längere Hospitalisationsdauer im Vergleich zu den erfolgreichen VATS-Lobektomien und im Vergleich zu den geplanten offenen Lobektomien eine längere Hospitalisationsdauer. Um künftig Konversionen, vor allem während der Lernkurve eines Chirurgen zu vermeiden entwickelten sie den sog. „Calcification score“, basierend auf Lokalisation und Grad von vaskulären Verkalkungen.

Sie schlagen deshalb den „Calcification score“ als Teil der präoperativen Einschätzung für die Auswahl des Verfahrens bei Lobektomie vor. Die beschriebenen Komplikationen bestätigten sich in unserer Studie nicht.

In einer aktuellen Arbeit von *Zhao et al.* wurden die Ergebnisse von 90 aufeinanderfolgenden VATS-Lobektomien chronologisch in 3 gleich große Gruppen eingeteilt und retrospektiv untersucht. Die Operationszeit und der intraoperative Blutverlust waren in den beiden zeitlich späteren Gruppen signifikant geringer. Es gab keine Unterschiede bezüglich der Konversionsrate, postoperativen Komplikationen, Verweildauer der Thoraxsaugdrainage sowie des Spitalaufenthalts. Eine Lernkurve war eindeutig vorhanden. Nach etwa 30-60 Fällen wurde der Chirurg deutlich besser und konnte die Technik mit geringerem Blutverlust und kürzerer Operationsdauer durchführen.

Eine dänische Studie (41) untersuchte die chirurgischen Daten und Resultate der ersten 50 VATS-Lobektomien eines "Consultant in Training" in einem Trainingsprogramm für VATS-Lobektomien und verglich diese mit den VATS-Lobektomien eines bereits in VATS-Lobektomie erfahrenen Operateurs. Der "Consultant in Training" war erfahren in der offenen Thoraxchirurgie und hatte bereits über 200 kleinere Eingriffe mittels VATS durchgeführt. Die Konversionsrate des "Consultant in Training" fiel mit 3 (6%) im Vergleich zum erfahrenen Operateur (12, 8%) sogar etwas geringer aus. Das dürfte auf die sorgfältige Patientenselektion des "Consulting in Training" zurückzuführen sein. Aus dem möglicherweise selben Grund waren die Ergebnisse des "Consultant in Training" auch bezüglich verlängerter Luftfistel, Liegedauer der Thoraxdrainage sowie Hospitalisierungsdauer wesentlich besser. Das chirurgische Ergebnis war durchaus akzeptabel, die Operationszeit war jedoch signifikant verlängert. Die Autoren kamen zur Überzeugung, dass die VATS-Lobektomie in einer in VATS-Lobektomie erfahrenen Klinik risikoarm erlernt werden kann.

Reed et al. (42) kamen ebenso zu dem Schluss dass die VATS-Lobektomie risikoarm erlernt werden kann. Die Autoren erachten jedoch einen schrittweisen Übergang mit Teilnahme an einem VATS-Lobektomie Kurs und schrittweises Erlernen der speziellen Technik für sinnvoll. Erfahrung in offener Thoraxchirurgie und VATS-Chirurgie setzen sie ebenso voraus. Bei der Untersuchung bei der mehrere Chirurgen teilnahmen, lag die Konversionsrate von den eingeschlossenen 105 VATS-Lobektomien bei 13%. Mit

zunehmender Erfahrung wurde das Verfahren immer häufiger auch von Assistenzärzten für Thoraxchirurgie als erste Operateure durchgeführt, wobei einer von ihnen auf 37 (35,2%) der durchgeführten VATS-Lobektomien kam.

Konge et al. (43) propagieren sogar, dass das Erlernen der VATS-Lobektomie auch mit nur wenig Erfahrung in offenen Verfahren mit guten Ergebnissen möglich sei. Eine gründliche Vorbereitung und sorgfältige Patientenselektion unter enger Supervision seien auch hier zielführend.

Wir sehen es jedoch als essentiell an, reichlich Erfahrung in der offenen Thoraxchirurgie zu haben bevor man mit dem Erlernen der VATS-Lobektomie beginnt. Als Hauptgrund ist zu nennen, dass im Falle einer Komplikation die Eröffnung des Brustkorbs äußerst rasch erfolgen muss, um z.B. eine massive Blutung schnellstmöglich zu stillen. Das Erlernen der minimalinvasiven Methode allein macht somit keinen Sinn, wenn um das Risiko für den Patienten gering zu halten, immer ein in offener Lobektomie erfahrener Chirurg am Operationstisch stehen muss.

Die Operationsdauer nahm insgesamt mit zunehmender Erfahrung statistisch hochsignifikant ab ($p = 0,008$) – d.h. die Operateure wurden schneller (siehe Abbildung 33). Reoperationen wurden seltener. ($p = 0,036$). Aus oben genannten Gründen verringerte sich die Operationszeit sowie die Konversionsrate bei Operateur 1 nur marginal, alle anderen Parameter zeigten keinen Zusammenhang mit der Lernkurve.

Der jüngere Chirurg hingegen wurde im Verlauf statistisch signifikant schneller, was sich ebenso mit oben genannten Gründen erklären lässt. Auch bei ihm zeigte sich bei den übrigen Parametern kein Zusammenhang mit der Lernkurve.

Das Ergebnis unserer Untersuchung im Vergleich mit anderen Studien ist in Tabelle 16 ersichtlich.

Autor	n	Konversionsrate (%)	Hospitalisierungsdauer (d) Mittelwert	Komplikationen (%)	Mortalität (%)
McKenna et al	1100	2,5	4,8	15	0,8
Yim et al	214	0,9	6,8	22	0,5
Walker et al	159	11,2	NV	NV	1,8
Swanson et al	128	13	3	NV	2
Solaini et al	105	5,7	6,2	12	NV
Onaitis et al	500	1,6	NV	NV	1
GRAZ	54	31,8	10,4	13	1,9

Tabelle 16. Literaturübersicht nach Onaitis et al. (36)

Diese Studie und die Literatur zeigen dass die VATS-Lobektomie eine sichere Methode mit einigen nennenswerten Vorteilen für die Patienten ist. Die in der Literatur beschriebene kürzere Liegedauer der Thoraxsaugdrainage, kürzere Spitalsaufenthaltsdauer und geringere postoperative Schmerzen bestätigten sich in unserer Studie. Mit genügend Erfahrung in offener Thoraxchirurgie und VATS-Chirurgie kann die Technik unter einer während der Lernkurve verlängerten Operationszeit und erhöhten Konversationsrate ohne Einbußen bei der Patientensicherheit bzw. erhöhte Komplikationsraten in Kauf nehmen zu müssen, gut erlernt werden.

5 Literaturverzeichnis

1. Pichlmaier H, Schildberg, F.W. Thoraxchirurgie: Springer Medizin Verlag Heidelberg; 2006.
2. Anderhuber F, Pera, F., Streicher J. Waldeyer - Anatomie des Menschen. Berlin, Boston: De Gruyter; 2012.
3. Moore KL, Dalley A. F., Agur, Anne M. Clinically Oriented Anatomy 2009.
4. Hansen JT, Lambert D.R. Netters Klinische Anatomie. Stuttgart: Thieme; 2006.
5. Fritsch H, Kühnel, W. Taschenatlas Anatomie Band 2. Stuttgart: Thieme; 2005.
6. Speckmann E-J, Hescheler, j., Köhling, R. Physiologie: Elsevier, Urban&FischerVerlag; 2008.
7. Klink R, Bauman R. Physiologie: Georg Thieme Verlag; 2010.
8. Thews G, Mutschler E, Vaupel P. Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart; 1999.
9. Tscheliessnigg K-H, Altziebler S. Lehrbuch der allgemeinen und speziellen Chirurgie: Maudrich; 2005.
10. Striebel HW. Anästhesie-Intensivmedizin-Notfallmedizin: Für Studium und Ausbildung: Schattauer GmbH; 2012.
11. Mutlak H, Czerner S, Winter H, Zwissler B, Lacknermeier P. Präoperative Evaluation und Risikoeinschätzung in der Thoraxchirurgie. Der Anaesthesist. 2010;59(10):918-28.
12. Schulz C, Emslander H, Riedel M. Risikoabschätzung von Patienten vor Lungenresektion. Der Chirurg. 1999;70(6):664-73.
13. Varela G, Brunelli A, Rocco G, Marasco R, Jimenez MF, Sciarra V, et al. Predicted versus observed FEV1 in the immediate postoperative period after pulmonary lobectomy. European journal of cardio-thoracic surgery : official journal of the European Association for Cardio-thoracic Surgery. 2006;30(4):644-8. Epub 2006/08/09.
14. Dienemann H, Hoffmann H, Herth F. Thoraxchirurgie im Alter. Der Chirurg. 2005;76(2):126-30.
15. Lababede O, Meziane MA, Rice TW. TNM Staging of Lung Cancer A Quick Reference Chart. CHEST Journal. 1999;115(1):233-5.
16. Handy JR, Asaph JW, Douville EC, Ott GY, Grunkemeier GL, Wu Y. Does video-assisted thoracoscopic lobectomy for lung cancer provide improved functional outcomes compared with open lobectomy? European Journal of Cardio-Thoracic Surgery. 2010;37(2):451-5.
17. Mittlböck M, Eigenbauer, E., Heinzl, H., editor. Lernkurven in der Chirurgie. 51 Jahrestagung der deutschen Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie; 2006; Leipzig.
18. Böttger TC, Mohsen, D., Beardi, J., Rodehorst, A. Lernkurve in der laparoskopischen Rektumchirurgie. Zentralblatt für Chirurgie. 2001;3(136):273-81.
19. Tanriverdi O, Boylu U, Kendirci M, Kadıhasanoglu M, Horasanlı K, Miroglu C. The learning curve in the training of percutaneous nephrolithotomy. European urology. 2007;52(1):206-11. Epub 2007/01/19.

20. Dincler S, Buchmann, P. Lernkurven als Dokumentation der operativen Tätigkeit. *Chirurgische Gastroenterologie*. 2004;2(20):16-9.
21. Hirner A, Weise, K. *Chirurgie*2008.
22. Zardo P, Weidener C, Fischer S. Expertentechniken in der Thoraxchirurgie. *Zeitschrift für Herz-, Thorax-und Gefäßchirurgie*. 2011;25(2):73-7.
23. Augustin F. Minimalinvasive onkologische Thoraxchirurgie. *Interdisziplinäre Onkologie*. 2013;5(1):6-12.
24. Eckersberger F. Leitlinien zur Minimal-invasiven Chirurgie in der onkologischen Thoraxchirurgie. *Klinik und Forschung in der Chirurgie unter dem Aspekt von Effizienz und Ökonomie*: Springer; 1997. p. 246-50.
25. Schumpelick V. *Operationsatlas Chirurgie*: Georg Thieme Verlag; 2006.
26. Reymond MA, Kirchner R, Lippert H. *Kompaktatlas Chirurgie*: Urban & Fischer; 2003.
27. Rogers ML, Duffy JP. Surgical aspects of chronic post-thoracotomy pain. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2000;18(6):711-6.
28. Karmakar MK, Ho A. Postthoracotomy pain syndrome. *Thoracic Surgery Clinics*. 2004;14(3):345-52.
29. Gotoda Y, Kambara N, Sakai T, Kishi Y, Kodama K, Koyama T. The morbidity, time course and predictive factors for persistent post-thoracotomy pain. *European Journal of Pain*. 2001;5(1):89-96.
30. Katz J, Jackson M, Kavanagh BP, Sandler AN. Acute pain after thoracic surgery predicts long-term post-thoracotomy pain. *The Clinical journal of pain*. 1996;12(1):50-5.
31. Berchtold R. *Chirurgie*: Elsevier, Urban&FischerVerlag; 2008.
32. Siewert JR, Stein, H.J. *Chirurgie*. 9. ed. Berlin, Heidelberg: Springer Medizin; 2012.
33. Schröder W, Krones C. *Survival-Guide Chirurgie: die ersten 100 Tage*: Springer DE; 2012.
34. Tscherne H. *Tscherne Unfallchirurgie: Kopf und Körperhöhlen*: Springer; 2000.
35. Lindenmann J. Thoraxchirurgische Standardeingriffe zur Therapie des nicht-kleinzelligen Lungenkarzinoms. *Interdisziplinäre Onkologie*. 2012:2-.
36. Onaitis MW, Petersen RP, Balderson SS, Toloza E, Burfeind WR, Harpole Jr DH, et al. Thoracoscopic lobectomy is a safe and versatile procedure: experience with 500 consecutive patients. *Annals of surgery*. 2006;244(3):420.
37. Solaini L, Prusciano F, Bagioni P, Di Francesco F, Poddie D. Video-assisted thoracic surgery (VATS) of the lung. *Surgical endoscopy*. 2008;22(2):298-310.
38. Hanna WC, de Valence M, Atenafu EG, Cypel M, Waddell TK, Yasufuku K, et al. Is video-assisted lobectomy for non-small-cell lung cancer oncologically equivalent to open lobectomy? *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2013;43(6):1121-5.
39. Sugi K, Sudoh M, Hirazawa K, Matsuda E, Kaneda Y. Intrathoracic bleeding during video-assisted thoracoscopic lobectomy and segmentectomy]. *Kyobu geka The Japanese journal of thoracic surgery*. 2003;56(11):928.
40. Samson P, Guitron J, Reed MF, Hanseman DJ, Starnes SL. Predictors of conversion to thoracotomy for video-assisted thoracoscopic lobectomy: A

retrospective analysis and the influence of computed tomography–based calcification assessment. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2013;145(6):1512-8.

41. Petersen RH, Hansen HJ. Learning thoracoscopic lobectomy. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2010;37(3):516-20.
42. Reed MF, Lucia MW, Starnes SL, Merrill WH, Howington JA. Thoracoscopic lobectomy: introduction of a new technique into a thoracic surgery training program. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2008;136(2):376-82.
43. Konge L, Petersen RH, Hansen HJ, Ringsted C. No extensive experience in open procedures is needed to learn lobectomy by video-assisted thoracic surgery. *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*. 2012;15(6):961-5. Epub 2012/09/13.
44. <http://edoc.hu-berlin.de/habilitationen/rueckert-jens-carsten-2003-10-23/HTML/chapter4.html> [Stand: 05. August 2013]
45. <http://flylib.com/books/en/3.98.1.40/1/> [Stand: 05. August 2013]
46. <http://www.chirurgenmanual.charite.de/pgs/01/st04/st042/st042/abb04027.htm> [Stand: 05. August 2013]